

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Marko Bunjevac

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić, dipl. ing. stroj.

Student:

Marko Bunjevac
0035196921

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Zoranu Luliću, mentoru, na odabranoj temi kao i na savjetima koje mi je pružio tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem također i svim članovima Katedre za motore i vozila.

Marko Bunjevac



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marko Bunjevac** Mat. br.: 0035196921

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Procjena emisija iz cestovnog prometa programom Copert Street Level**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Estimation of emissions from road traffic using Copert Street Level program**

Opis zadatka:

Procjene su da cestovni promet u Republici Hrvatskoj, kao i u Europi ukupnim emisijama pridonosi s približno 30 %. Za razliku od većine sektora u kojima se bilježi smanjenje potrošnje energije i emisija u sektoru transporta potrošnja energije i emisije kontinuirano rastu.

Politika EU ide u smjeru smanjenja emisija ovih plinova, a smanjenja se nastoje postići primjenom različitih mjera. Prije uvođenja pojedine mjere potrebno je procijeniti njen učinak na buduće emisije, odnosno procijeniti moguća smanjenja emisija.

Za procjenu emisija na razini pojedine ili više povezanih prometnica može se koristiti program Copert Street Level.

U okviru rada treba:

- Dati sažeti osvrt na temu emisija cestovnih motornih vozila (štetni i staklenički plinovi, propisi, utjecajne veličine na emisiju štetnih plinova).
- Proučiti i opisati rad programa Copert Street Level, a potom izraditi nekoliko različitih modela prometa i strukture voznog parka odnosno vozila koje se kreću po nekoj od analiziranih prometnica.
- Proučiti i opisati dostupne modele prometa o kojima ovise emisije.
- Kroz nekoliko scenarija pokazati utjecaj strukture vozila (kategorije vozila, emisijske razine Euro 1, 2, 3, ..., starost vozila, tip motora, vrsta goriva, ...) i intenziteta prometa na emisije s pojedine prometnice.

Pri izradi se treba pridržavati pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.


Rok predaje rada:

1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

1	UVOD	1
1.1	Emisije štetnih tvari motora s unutarnjim izgaranjem.....	1
1.2	Razvoj dopuštenih granica emisija štetnih tvari	2
1.3	Ukupni utjecaj emisija štetnih tvari u Europi	3
1.4	Trendovi razvoja u cilju smanjenja emisije CO ₂	4
1.5	Načini analize ukupnih emisija vozila.....	6
2	COPERT Street Level	7
2.1	EMISIA SA	7
2.2	COPERT Street Level program	7
2.3	Opis rada COPERT Street Level	8
2.3.1	Izbornik Project	8
2.3.2	Izbornik „Advanced“	11
2.3.3	Izbornik Results.....	13
2.3.4	Izbornik About	13
2.4	Rad u programu COPERT Street Level na primjeru prometnica u Zagrebu.....	14
2.4.1	Pretpostavke i ograničenja.....	14
2.4.2	Promatrane prometnice	14
2.4.3	Broj vozila na pojedinoj prometnici.....	15
2.4.4	Definiranje novog projekta i ulazni podaci	16
2.4.5	Izračun i prikaz rezultata	19
2.4.6	Interpretacija dobivenih rezultata.....	21
2.5	Utjecaj strukture vozila na raskrižju Ulice grada Vukovara i Miramarske ulice	22
2.5.1	Broj, brzina i struktura vozila.....	22
2.5.2	Utjecaj strukture na emisiju.....	23
3	EMISIJSKI FAKTOR U OVISNOSTI O BRZINI I STRUKTURI VOZILA	25

3.1	Emisijski faktor.....	25
3.2	Emisijski faktori za sve kategorije vozila u Republici Hrvatskoj pomoću strukture vozila sadržane u COPERT: Street Levelu za 2016. godinu.....	25
3.2.1	Pregled emisijskih faktora COPERT: Street Level-a.....	25
3.2.2	Emisijski faktori dobiveni proračunom emisija štetnih tvari	27
3.3	Usporedba strukture vozila i izračunatih rezultata za 2016. godinu.....	30
3.3.1	Razlika strukture vozila.....	30
3.3.2	Razlika emisijskih faktora	31
3.4	Trend smanjenja emisijskih faktora.....	33
3.5	Usporedba emisijskih faktora COPERT: Street Level i HBEFA	36
3.5.1	Utjecaj starosti vozila kod automobila pogonjenih Ottovim motorom	36
3.5.2	Utjecaj starosti vozila kod automobila pogonjenih Diesellovim motorom.....	38
4	ZAKLJUČAK	42
	LITERATURA.....	43

POPIS SLIKA

Slika 1.1. Prosječan sastav nepročišćenih ispušnih plinova Ottovog motora (prije katalitičkog konvertera) [1].....	1
Slika 1.2. Prosječan sastav nepročišćenih ispušnih plinova Dieslovog motora [1].....	1
Slika 1.3. Utjecaj pojedinih sektora na okoliš 1990. Godine [3].....	3
Slika 1.4. Utjecaj pojedinih sektora na okoliš 2014. Godine [3].....	3
Slika 1.5. Trendovi razvoja u cilju smanjenja emisije CO ₂ [4].....	4
Slika 1.6. Emisija CO ₂ prosječnog električnog automobila gledajući način dobivanja i potrošnje električne energije [5].....	5
Slika 1.7. Zastupljenost načina analize emisija štetnih tvari u Europi [6]	6
Slika 2.1. Izbornik Project.....	8
Slika 2.2. Create project	8
Slika 2.3. Project information	10
Slika 2.4. View import data.....	10
Slika 2.5. Izbornik Advanced	11
Slika 2.6. PCU weights	11
Slika 2.7. Informacije o CSL parametrima flote	12
Slika 2.8. Izbornik Results	13
Slika 2.9. Izbornik About	13
Slika 2.10. Project Kruge	17
Slika 2.11. Standardna struktura vozila prema CSL	17
Slika 2.12. Type 1	18
Slika 2.13. Type 2	18
Slika 2.14. Type 4	18
Slika 2.15. Rezultati izračuna prikazani opcijom "On map"	20
Slika 2.16. Procjena prometa promatranog raskrižja	22

Slika 2.17. Promatrane strukture vozila	23
Slika 2.18. Emisija CO za standardnu strukturu vozila.....	23
Slika 2.19. Emisija CO za novu strukturu vozila	24
Slika 3.1. Utjecaj broja vozila na emisijski faktor	26
Slika 3.2. Utjecaj duljine segmenta na emisijski faktor	26
Slika 3.3. Emisijski faktori CO ₂ prema COPERT:Street Levelu	27
Slika 3.4. Emisijski faktori CO prema COPERT:Street Levelu	28
Slika 3.5. Emisijski faktori CO prema COPERT:Street Levelu bez motocikala i mopeda	28
Slika 3.6. Emisijski faktori NO _x prema COPERT:Street Levelu	29
Slika 3.7. Emisijski faktori PM prema COPERT:Street Levelu	29
Slika 3.8. Usporedba strukture vozila prema emisijskim razredima.....	31
Slika 3.9. Usporedba emisijskih faktora CO	31
Slika 3.10. Usporedba emisijskih faktora NO _x	32
Slika 3.11. Usporedba emisijskih faktora PM.....	32
Slika 3.12. Udio pojedinih emisijskih razreda u prometu osobnih automobila	33
Slika 3.13. Smanjenje emisijskog faktora CO.....	34
Slika 3.14. Smanjenje emisijskog faktora NO _x	34
Slika 3.15. Smanjenje emisijskog faktora PM	35
Slika 3.16. Emisijski faktori CO osobnih automobila u ovisnosti o emisijskom razredu vozila	36
Slika 3.17. Usporedba emisijskih faktora CO	37
Slika 3.18. Emisijski faktori NO _x osobnih automobila u ovisnosti o emisijskom razredu vozila	38
Slika 3.19. Usporedba emisijskih faktora NO _x	39
Slika 3.20. Emisijski faktori PM osobnih automobila u ovisnosti o emisijskom razredu(starosti) vozila	40
Slika 3.21. Usporedba emisijskih faktora PM.....	41

POPIS TABLICA

Tablica 1.1. Granične vrijednosti emisija štetnih tvari vozila kategorije M1 [2].....	2
Tablica 2.1. Ulazni podaci za primjer naselja Kruge	16
Tablica 2.2. Rezultati izračuna prikazani "By row"	19
Tablica 2.3. Ukupne prosječne štetne emisije izražene u kg.....	21
Tablica 3.1. Udio vozila po emisijskim razredima.....	30

POPIS OZNAKA

Oznaka	Naziv
CO ₂	Ugljikov dioksid
CO	Ugljikov monoksid
NO _x	Dušikovi oksidi
PM	Krute čestice
HBEFA	Handbook Emission Factors for Road Transport
PHEM	Passenger car and Heavy duty Emission Model
CSL	COPERT: Street Level
CVH	Centar za vozila Hrvatske

SAŽETAK

U radu je opisan problem emisija štetnih tvari motora s unutarnjim izgaranjem, razvoj dopuštenih granica i načini predviđanja emisija štetnih tvari na razini jednog sata i jednog dana pomoću programa COPERT: Street Level. Unutar rada je napisan kratak priručnik u kojem je objašnjen način rada u programu u svrhu pomoći budućim korisnicima programa, nakon čega je prikazana mogućnost predviđanja emisija štetnih tvari. Za prvi primjer odabrano je naselje Kruge uz pretpostavljene vrijednosti broja vozila i strukture vozila u svrhu prikazivanja mogućnosti programa COPERT: Street Level na temelju jednog sata za različite strukture vozila. Drugim primjerom je prikazan utjecaj emisija štetnih tvari na raskrižju Ulice grada Vukovara i Miramarske ulice za osobne automobile sa njihovom stvarnom strukturom prema podacima registriranih vozila u Republike Hrvatske i stvarnog broja osobnih automobila koji tamo prometuju u jednom danu. Zbog lakšeg razumijevanja proračuna emisija štetnih tvari uveden je pojam emisijskih faktora pomoću kojeg je opisan utjecaj pojedine strukture vozila na emisiju štetnih tvari, te je dan osvrt i na utjecaj emisijskih razreda (EURO...) na emisiju štetnih tvari. Također je prikazana razlika strukture osobnih automobila unaprijed sadržane u programu COPERT: Street Level i stvarne strukture vozila prema podacima o registriranim osobnim automobilima Republike Hrvatske. Za kraj je napravljena usporedba emisijskih faktora prema COPERT: Street Levelu i HBEFA-i za neke od promatranih štetnih tvari.

SUMMARY

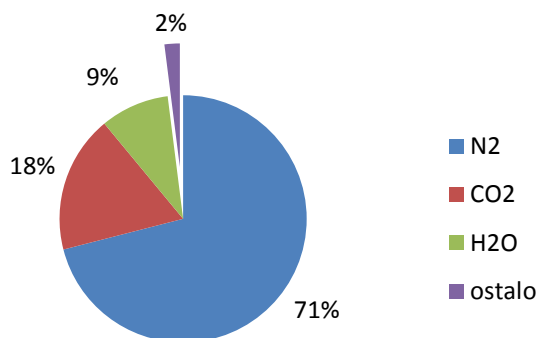
In this paper, a problem with pollution of internal combustion engines has been described. In addition, a development of the permissible limits and methods of foreseeing the pollution emissions per one hour and per one day by using COPERT: Street Level has also been described. Inside this paper, a brief manual describing the mode of the program and in order to help the future users has been presented, following the possibility of foreseeing the pollution emissions. For the first example, an estate Kruga was chosen, with an assumed number of vehicles and their structure. Next, the mentioned numbers were implemented in the COPERT: Street Level program, to see its possibilities. For the next example, the harmful impact of the pollution emissions on the intersection of Grada Vukovara street and the Miramarska street has been represented. In this example, a real structure of data has been used, the number of passenger cars and their structure per day, according to the registered vehicle data of the Republic of Croatia. In order to understand the written calculation, a term emission factor has been introduced in the paper, explaining the impact of each individual vehicle structure. In addition, a review of the impact of emission classes (EURO,...) on the pollution emissions has been shown. Afterwards, a difference between the assumed and the real-life vehicle structure has been presented, according to the registered vehicle data of Republic of Croatia. To recon everything, a comparison of calculated emission factors according to COPERT: Street Level and HBEFA has been made for some of the observed harmful substances.

1 UVOD

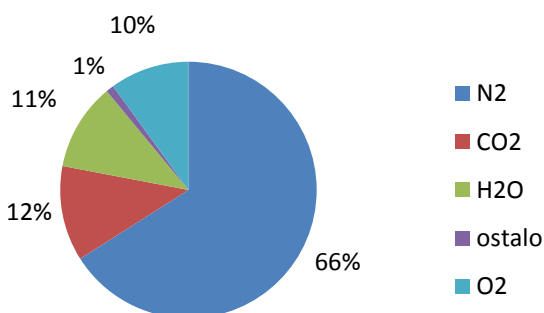
1.1 Emisije štetnih tvari motora s unutarnjim izgaranjem

Prilikom izgaranja goriva u motorima cestovnih vozila, neizbježno je nastajanje ispušnih plinova koji u sebi sadrže preko stotinu raznih spojeva koji su otrovni ili na neki način štetni za ljudsko zdravlje i za okoliš u kojem živimo. Homologacijskim propisima (u Europi ECE pravilnicima i EU uredbama) određene su dopuštene granice emisija štetnih tvari u cilju kontrole i smanjenja štetnih emisija.

U ispušnim plinovima motora cestovnih vozila ograničenja postoje za emisije ugljikovog monoksida (CO), ugljikovodika (HC), dušikovih oksida (NO_x), krutih čestica (PM), nemetanskih ugljikovodika (NMHC), a kod vozila pogonjenih prirodnim plinom ograničenje postoji i za metan (CH_4). Također je ograničena neprozirnost ispuha(zamućenje) i količina hlapivih tvari koje vozilo ispušta u okoliš iz spremnika i sustava za gorivo.



Slika 1.1. Prosječan sastav nepročišćenih ispušnih plinova Ottovog motora (prije katalitičkog konvertera) [1]



Slika 1.2. Prosječan sastav nepročišćenih ispušnih plinova Diesellovog motora [1]

1.2 Razvoj dopuštenih granica emisija štetnih tvari

U Europi su u početku za ispušne plinove cestovnih vozila postojala ograničenja samo za emisiju ugljikova monoksida (CO), od 1970. godine ograničenja su se proširila i na ugljikovodike (HC), 1977. godine ograničenja zahvaćaju i dušikove okside (NO_x), a od 1988. godine na snagu stupaju i ograničenja količina čestica (PM) kod Diesellovih motora. 1992. godine propisi o graničnim vrijednostima dobivaju naziv Euro.

Tablica 1.1. Granične vrijednosti emisija štetnih tvari vozila kategorije M1 [2]

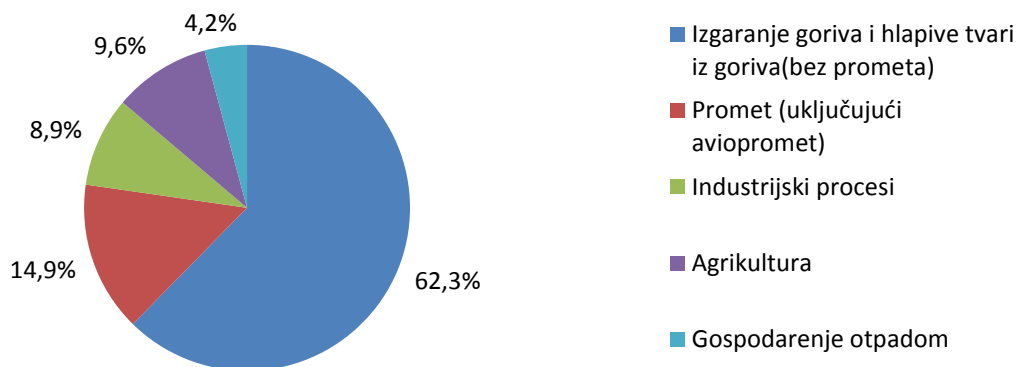
	Stupanje na snagu	CO (g/km)	HC (g/km)	HC+NO _x (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/km)
Diesel						
Euro 1	1992/07	3,16	-	1,13	-	0,18
Euro 2, IDI	1996/01	1,00	-	0,70	-	0,08
Euro 2, DI	1996/01	1,00	-	0,90	-	0,10
Euro 3	2000/01	0,64	-	0,56	0,50	0,05
Euro 4	2005/01	0,50	-	0,30	0,25	0,025
Euro 5	2009/09	0,50	-	0,23	0,18	0,005
Euro 6	2014/09	0,50	-	0,17	0,08	0,005
Otto						
Euro 1	1992/07	3,16	-	1,13	-	-
Euro 2	1996/01	2,20	-	0,50	-	-
Euro 3	2000/01	2,30	0,20	-	0,15	-
Euro 4	2005/01	1,00	0,10	-	0,08	-
Euro 5	2009/09	1,00	0,10	-	0,06	0,005
Euro 6	2014/09	1,00	0,10	-	0,06	0,005

Iz Tablice 1.1. vidljivo je kako postoji trend smanjivanja dozvoljenih emisija štetnih plinova ispuha. Potrebno je naglasiti kako od početka uvođenja Euro emisijskih razreda, postignuto je smanjenje emisije ugljik-monoksida (CO) od 97,2 % kod automobila pogonjenih Ottovim motorom i 97,6 % kod automobila pogonjenih Diesellovim motorom. U slučaju Diesellovog motora značajniji utjecaj imaju HC+NO_x spojevi koji su smanjeni za 97,1 % i sitne čestice (PM) koje su smanjene za 98,1 %.

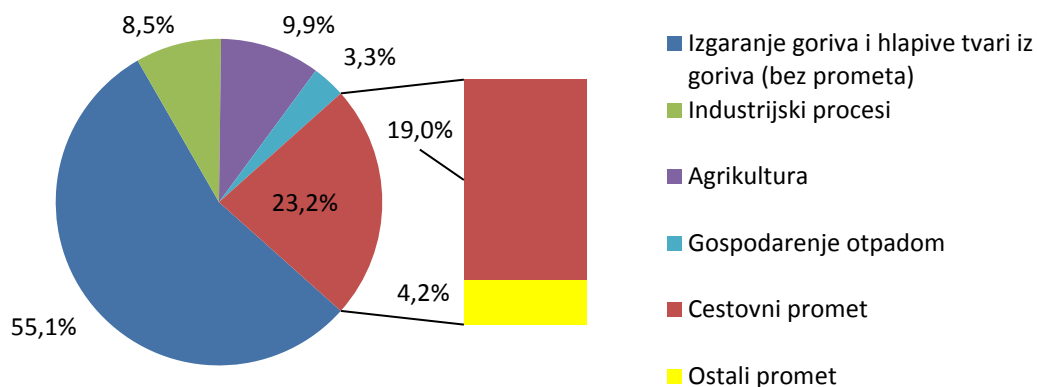
Smanjenje emisija štetnih ispušnih plinova postiže se optimiranjem procesa izgaranja u cilindru, pročišćavanjem ispušnih plinova nakon što su izašli iz motora, stalnim poboljšanjem kvalitete goriva i još mnogim drugim načinima vezanim direktno za vozilo.

1.3 Ukupni utjecaj emisija štetnih tvari u Europi

Vozila nisu jedini uzročnici štetnih emisija, ali su jedan od najznačajnijih. U značajnije uzročnike još se ubrajaju postrojenja koja koriste izgaranje fosilnih goriva kao izvor energije i industrija. Prema Eurostatu, glavnom uredu EU za objavu statističkih podataka visoke kvalitete, procjenjen je rast utjecaja prometa na okoliš za 8 % unazad 25 godina.



Slika 1.3. Utjecaj pojedinih sektora na okoliš 1990. Godine [3]

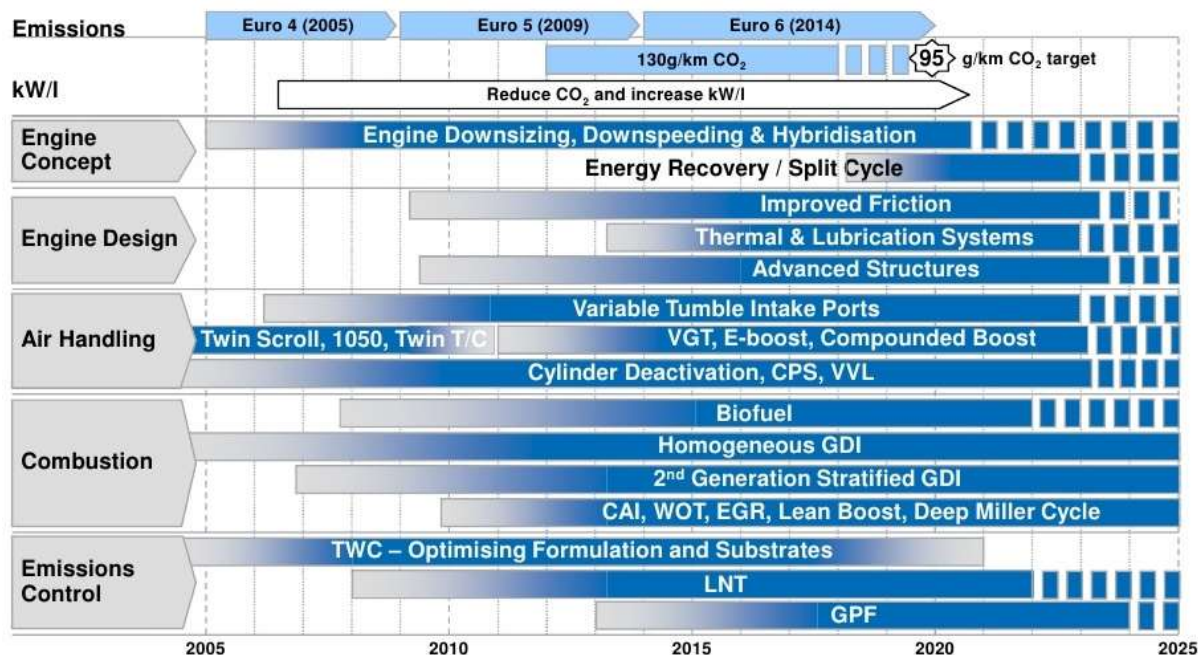


Slika 1.4. Utjecaj pojedinih sektora na okoliš 2014. Godine [3]

Iz Eurostatovih podataka je vidljivo kako je u odnosu na 1990. godinu utjecaj prometa u Europi značajno porasao, te kako ključnu ulogu u njemu igra upravo cestovni promet. Činjenica da 2015. godine u Europi postoji 251 milijun registriranih osobnih vozila, 23 milijuna lakih gospodarskih vozila i 13 milijuna teretnih vozila, pomaže shvatiti koliko je bitno pratiti i kontrolirati emisije štetnih tvari koje ta vozila proizvode.

1.4 Trendovi razvoja u cilju smanjenja emisije CO₂

Cilj u EU je smanjenje emisija CO₂ sa današnjih 120-140 g/km, na samo 95 g/km do 2020. godine. To je smanjenje od gotovo 30 %, što je veoma značajno, ali postavlja se pitanje je li to moguće. Proizvođači vozila sve više ulažu u razvoj novih tehnologija kako bi dostigli zadane ciljeve u vremenskom roku. Uz razvoj novih tehnologija značajan utjecaj ima i poboljšanje starih.



Slika 1.5. Trendovi razvoja u cilju smanjenja emisije CO₂ [4]

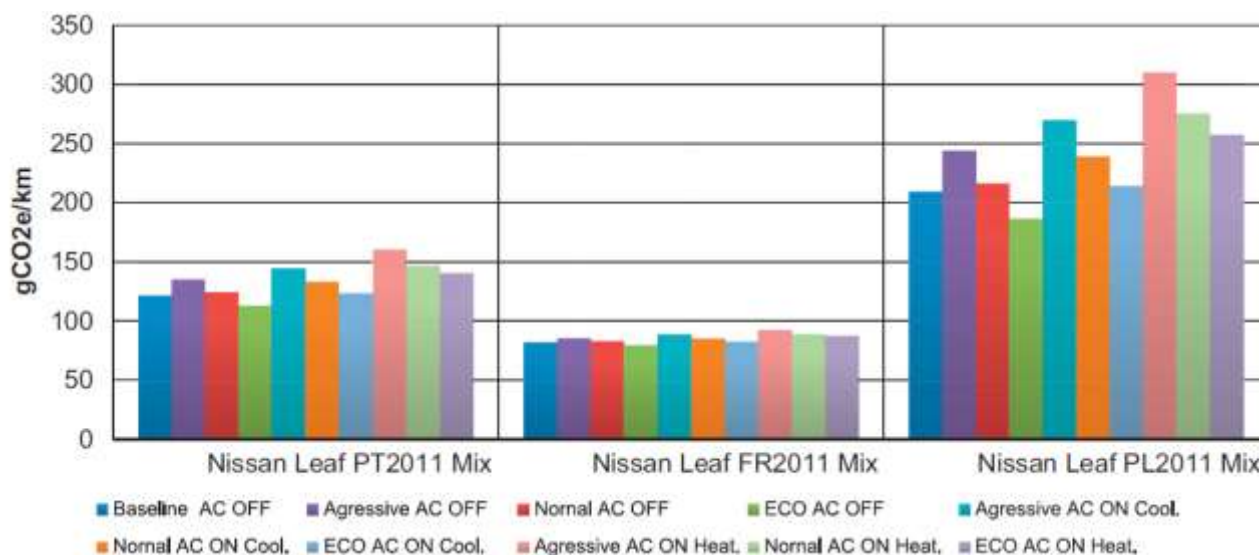
Kao jedno od rješenja predstavlja se konstrukcijsko optimiranje vozila kao što su smanjivanje unutarnjih i vanjskih otpora vožnje. U unutarnje otpore vožnje spadaju otpori prijenosa snage, odnosno svi gubici od zamašnjaka do kotača, dok u vanjske otpore spadaju otpori kotrljanja i otpori zraka. Unutarnje otpore moguće je riješiti uz korištenje posebnih maziva ili boljim konstrukcijskim rješenjem oblikovanja ozubljenja u mjenjaču. Kod smanjenja vanjskih otpora vožnje također je potrebno primjeniti nova konstrukcijska rješenja uz dodatak novih materijala za poboljšanje otpora kotrljanja, odnosno poboljšanje aerodinamike vozila za smanjenje otpora zraka.

Danas je u praksi sve više prisutno i konstrukcijsko optimiranje motora s unutarnjim izgaranjem. U tu kategoriju spadaju "downsizing", odnosno smanjenje radnog volumena motora uz primjenu prednabijanja, te optimiranje radnih parametara motora uz dodatak razvijanja novih sustava za poboljšanje efikasnosti. Tako danas postoje blokovi motora koji su dijelom izrađeni od ojačanih polimera što pridonosi smanjenju mase i do 20 % i motore koji su u mogućnosti deaktivirati pojedine cilindre te tako smanjiti emisiju CO₂ i do 8 g/km što pridonosi smanjenju oko 5 %.

Kako bi dosegli emisijske standarde u budućnosti, proizvođači vozila sve se više okreću hibridnom pogonu. Hibridni pogon podrazumijeva dva ili više izvora energije, od kojih su

danas zastupljeni Ottov ili Dieslov motor uparen s elektromotorom. Hibridni pogon deklariran je kao povoljniji iz aspekta potrošnje goriva, a samim time i iz aspekta emisije štetnih i stakleničkih plinova. Uz hibridni pogon proizvođači vozila okreću se i pogonu isključivo elektromotorom koji je deklariran kao pogon nulte emisije jer oni lokalno ne proizvodi nikakve štetne i stakleničke plinove. Jedina njihova mana je visoka cijena zbog složenog sustava pohrane energije.

Kada se promatraju hibridni i čisto električni pogoni, oni zvuče kao idealna rješenja za problem smanjenja emisija u budućnosti, ali to baš nije tako. Danas u svijetu su još uvijek najzastupljenija fosilna goriva pri dobivanju električne energije sa 53 % u Europi i sa 80 % u Aziji, što hibridna i električna vozila, ako se provodi dubinska analiza, svrstava u isti ekološki rang kao i vozila pogonjena motorom s unutarnjim izgaranjem sličnih performansi kao što je i vidljivo iz Slike 1.6. na kojoj je prikazana emisija ugljikova dioksida dobivena proizvodnjom električne energije namjenjene za pogon električnog vozila za nekoliko različitih slučajeva u eksploataciji.



Slika 1.6. Emisija CO₂ prosječnog električnog automobila gledajući način dobivanja i potrošnje električne energije [5]

1.5 Načini analize ukupnih emisija vozila

Kao pomoć pri praćenju ukupnih emisija izazvanih vozilima i njihove trendove, razvijeni su različiti softverski paketi i priručnici koji pomažu predvidjeti različite scenarije. Upravo ti programi su budućnost smanjenja štetnih emisija, jer uz njihovu pomoć moguće je jednostavnije pratiti utjecaje pojedinih parametara na emisije iz prometa. Neki od utjecajnih parametara su starost vozila, kategorija vozila, prosječna brzina, prijeđeni put, tip pogona itd.. Najpopularniji i najkorišteniji načini praćenja i predviđanja emisija u Europi su HBEFA(Handbook Emission Factors for Road Transport) i Copert 4.



Slika 1.7. Zastupljenost načina analize emisija štetnih tvari u Europi [6]

HBEFA (Handbook Emission Factors for Road Transport)

HBEFA pruža emisijske faktore za sve trenutne kategorije vozila, koje dodatno dijeli u podkategorije za širok raspon mogućih prometnih scenarija. Uključeni su svi emisijski faktori, oni regulirani, ali i oni koji ne podliježu regulaciji, potrošnja goriva i emisija CO₂. Različiti parametri su uključeni u HBEFA: tip emisije (topli i hladni start, isparavanje goriva), kategorija vozila, godina proizvodnje, prometni scenariji. Emisijski faktori korišteni u HBEFA su generirani pomoću PHEM-a(Passenger car and Heavy duty Emission Model).

COPERT

Copert je softverski alat koji se koristi širom svijeta za računanje štetnih i stakleničkih emisija iz prometa. Razvoj COPERT programskog paketa je koordiniran od strane EEA(European Environment Agency). Bio je namjenjen isključivo zemljama članicama EEA(European Economic Area), ali je svoju primjenu proširio na ostale zemlje u cilju istraživanja štetnih emisija. COPERT se zasniva na posebnim matematičkim modelima koji uzimaju štetne emisije po tipu i tehnologiji vozila i prikazuju ih kao funkciju prosječne brzine vozila. Program je usklađen sa 2006 IPCC(Intergovernmental Panel for Climate Change) smjernicama za izračun emisija stakleničkih plinova, te pruža transparentan i standardiziran način prikupljanja podataka koji se koriste za izvještavanje o emisijama stakleničkih plinova u skladu sa međunarodnim konvencijama i protokolima i EU zakonima.

2 COPERT Street Level

2.1 EMISIA SA

EMISIA SA je tvrtka specijalizirana u području prikupljanja i obrade podataka iz područja emisija štetnih tvari, modeliranja emisija štetnih tvari i procjene utjecaja emisija štetnih tvari u skladu sa propisima. Osoblje se sastoji od inženjera strojarstva, elektrotehnike, kemije i programera sa visokim znanjem iz područja zaštite okoliša. Specijalizirani su pretežno za prometnu statistiku i emisije iz područja prometa (cestovnog, željezničkog i avionskog). Uz to pružaju i usluge procjene emisija štetnih tvari na lokalnoj razini (ulica ili grad) i na nacionalnoj i globalnoj razini.

EMISIA SA je tvrtka pod pokroviteljstvom Aristotle University of Thessaloniki, Laboratorija za primjenu termodinamiku i osnovani su u veljači 2008.

2.2 COPERT Street Level program

COPERT Street Level je samostalna MS Windows program napravljen za korisnike kojima je želja izračunati emisije štetnih tvari na razini ulice. Program je napravljen na način da radi uz alate zadužene za prikupljanje podataka iz prometa.

Njegova metodologija zasniva se na dobro poznatom COPERT modelu, ali donosi sasvim novi pristup računanju emisija. Program može računati štetne emisije na razini pojedine prometnice ili mreže prometnica na razini cijeloga grada. Za izračun program zahtjeva minimalni set ulaznih podataka i optimiran je kako bi mogao što brže izvršiti izračun. Novost u odnosu na ostale programe je da COPERT Street Level omogućuje vizualizaciju podataka na GIS karti.

2.3 Opis rada COPERT Street Level

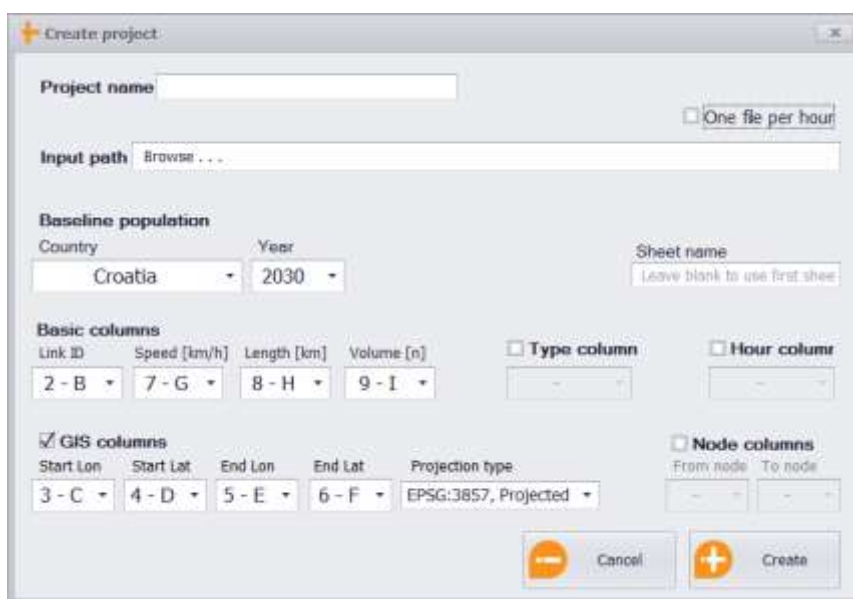
Program u sebi sadrži 4 glavna izbornika: „**Project**“, „**Advanced**“, „**Results**“ i „**About**“. Izbornik Project u sebi sadrži sve potrebne funkcionalnosti potrebne za provedbu izračuna emisija štetnih tvari. Izbornik Advanced dozvoljava korisniku promjenu parametara izračuna. Izbornik Results prikazuje rezultate izračuna. Izbornik About sadrži sve potrebne podatke za registraciju korisnika.



Slika 2.1. Izbornik Project

2.3.1 Izbornik Project

Za početak rada, potrebno je u izborniku Project pritisnuti tipku Create kojom se otvara novi prozor pod imenom „**Create project**“. Kako bi se kreirala nova COPERT Street Level datoteka potrebno je ispuniti sve tražene podatke u prozoru „**Create project**“.



Slika 2.2. Create project

U prozor „**Project name**“ unosi se naziv pod kojim se želi spremati rezultat nastao izračunom u obliku CSL(COPERT Street Level) ili MS Excel datoteke.

Podaci koji se unose mogu biti podjeljeni po satu ili u rasponu od nekoliko sati ovisno o načinu prikupljanja podataka. Za slučaj kada postoji više datoteka za svaki sat, potrebno je označiti polje „**One file per hour**“ što omogućuje odabir više putanja datoteka koje sadrže podatke razvrstane po satu.

Pritiskom na prozor „**Input path**“ omogućuje se brza lokacija datoteke koja sadrži sve potrebne podatke za izračun emisija štetnih tvari. Za slučaj kada je označena kućica „**One file per hour**“, prozor „**Input path**“ se proširuje i omogućuje korisniku da odabere lokacije podataka za svaki pojedini sat.

Pritiskom na „**Baseline population-Country**“ prikazuje se popis zemalja za koje postoje osnovni podaci o floti vozila unaprijed sadržani u programu. Također postoji mogućnost odabira godine pritiskom na „**Baseline population-Year**“. COPERT Street Level sadrži osnovne podatke o floti vozila za prethodne godine i predviđanja za buduće godine.

Podaci se u program unose preko MS Excel datoteke. Ako se potrebni podaci za izračun emisija štetnih tvari ne nalaze na prvoj strani MS Excel datoteke potrebno je u polje „**Sheet name**“ unijeti naziv strane na kojoj se nalaze. Za slučaj kada su podaci na prvoj strani, polje se ostavlja prazno.

Pod nazivom „**Basic columns**“ definiraju se lokacije svih potrebnih parametara za izračun emisija štetnih tvari. U te parametre ulaze oznaka prometnice (Link ID), brzina (Speed), duljina prometnice (Length) i broj vozila (Volume).

Pod nazivom „**Type columns**“ definira se lokacija koja određuje tip flote sa svim potrebnim udjelima, koji se kasnije definira u izborniku „**Advanced**“.

Za slučaj da postoji jedna datoteka sa podacima o pojedinom satu potrebno je označiti „**Hour column**“ i stupac u kojem se nalaze podaci o satu.

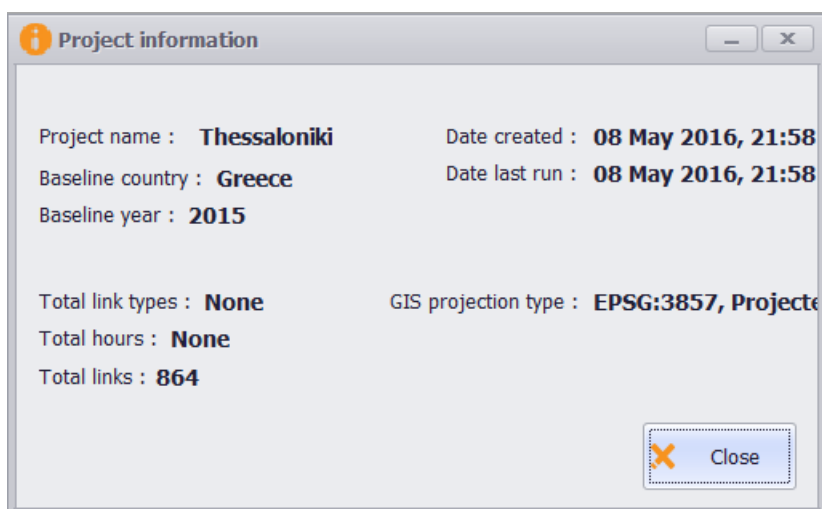
„**GIS columns**“ definira lokacijske podatke potrebne za prikaz utjecaja emisija štetnih tvari na karti.

„**Node columns**“ definira vezu između pojedinih prometnica. Oni nikako ne utječu ni na izračun, ni na vizualizaciju emisija na karti.

U izborniku Project moguće je spremiti nastalu CSL datoteku pritiskom na „**Save**“ ili učitati prethodno spremljenu CSL datoteku pritiskom na „**Load**“ i odabirom datoteke koju želimo učitati.

Zatvaranje trenutno otvorene CSL datoteke omogućeno je pritiskom na tipku „**Close**“.

Pritiskom na „**Info**“ korisniku je omogućen pregled svih informacija vezanih za CSL datoteku na kojoj trenutno radi.



Slika 2.3. Project information

Pritiskom na „**View**“ otvara se prozor u kojem je moguće vidjeti sve podatke sadržane u CSL datoteci.

View import data

Hour: 00:00 - 01:00

Link ID	Length [k...]	Start LON	Start LAT	End LON	End LAT	Speed [km/h]	Volume [n/ho...]
253929	3	2564183.500...	4951336.885...	2564285.113...	4951386.254...	16	113
253930	2	2556750.041...	4952288.227...	2556779.652...	4952160.792...	25	65
253931	2	2567049.610...	4911556.608...	2567059.517...	4911699.255...	35	74
253932	1	2567032.277...	4911267.525...	2567040.214...	4911409.715...	21	91
253933	1	2567024.507...	4911139.847...	2567032.277...	4911267.525...	32	138
253934	2	2567040.214...	4911409.715...	2567049.610...	4911356.608...	24	131
253935	3	2567059.517...	4911699.255...	2567068.111...	4911842.575...	35	83
253936	2	2565635.875...	4952913.431...	2566005.900...	4953419.479...	28	54
253937	5	2566005.900...	4953419.479...	2566201.767...	4953267.561...	33	117
253938	5	2555180.815...	4949501.365...	2555301.184...	4949406.267...	31	66
253939	1	2555301.184...	4949406.267...	2555327.089...	4949370.083...	27	60
253940	5	2555327.089...	4949370.083...	2555364.670...	4949317.589...	34	124
253941	2	2561548.713...	4949979.713...	2561619.423...	4950098.193...	28	129
253942	4	2561394.891...	4949840.217...	2561456.941...	4949878.542...	21	139
253943	3	2561456.941...	4949878.542...	2561548.713...	4949979.713...	19	150
253944	3	2554896.371...	4958841.756...	2554857.888...	4958779.089...	21	103
253945	5	2554857.888...	4958779.089...	2554795.360...	4958691.470...	15	71
253946	3	2554933.129...	4958900.081...	2554896.371...	4958841.756...	29	59

Close

Slika 2.4. View import data

2.3.2 Izbornik „Advanced“

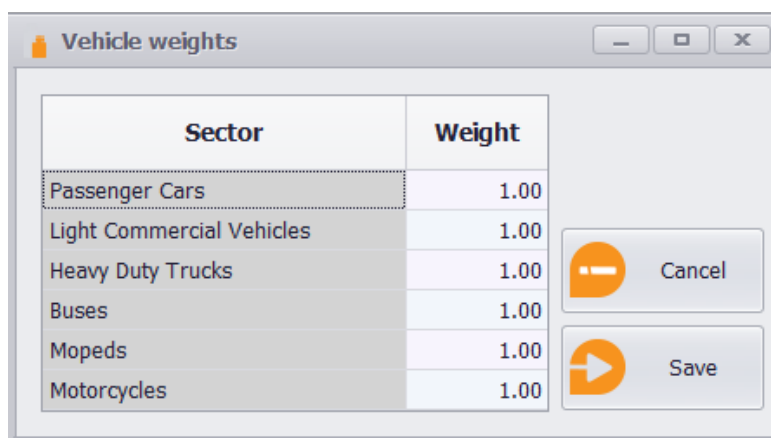
Nakon što su preko izbornika Project zadani svi ulazni podaci bitni za izračun emisija štetnih tvari, u izborniku „Advanced“ moguće je mijenjati parametre flote vozila kako bi se mogli promatrati utjecaji na emisije štetnih tvari u ovisnosti o kategoriji vozila, pogonskom gorivu i starosti vozila.



Slika 2.5. Izbornik Advanced

PCU weights

U slučaju da korisnik zadaje ulazne podatke preko ukupnog broja vozila u satu, a ne preko PCU-a (Passenger Car Unit), potrebno je uskladiti podatke preko „**PCU weights**“ funkcije. PCU je mjerna jedinica koja predstavlja utjecaj osobnog automobila u prometu. PCU osobnog automobila je jednak jedan, dok je PCU autobusa oko tri ovisno o vrsti prometnice, jer jedan autobus na promet utječe kao tri osobna automobila.



Slika 2.6. PCU weights

By sector

Pod opcijom „**By sector**“ korisnik određuje postotni udio svakog tipa vozila u sveukupnoj floti vozila. Podaci su uključeni u programu za svaku od zemalja članica EU sa predviđanjima do 2030. godine. Korisniku je omogućeno da mijenja udjele ovisno o potrebi. Ranije je spomenuto kako je moguće mijenjati udjele tipa vozila u floti, ako je označeno više tipova unutar „**Type column**“. Ovaj način rada postoji kako bi korisnik mogao promatrati različite scenarije bez da svaki put kreira novu datoteku.

By fuel

Nakon što je promatrana flota vozila podijeljena po udjelima pojedinog tipa vozila, opcija „**By fuel**“ dozvoljava korisniku da za svaki tip vozila dodatno definira udio goriva koje koristi.

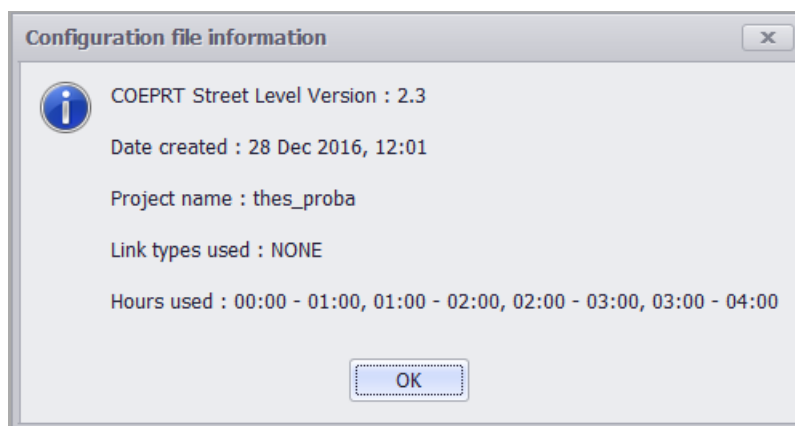
By technology

Uz opciju „**By fuel**“ korisniku se omogućuje i opcija „**By technology**“ da za svaki tip goriva dodatno definira udio svake pojedine tehnologije koja u stvari predstavlja starost vozila.

Dakle, izbornik „**Advanced**“ osim što sadrži podatke o strukturi vozila svake od zemalja država članica EU, korisniku omogućuje da mijenja te parametre u skladu s njegovim željama kako bi se mogli promatrati različiti scenariji. Tako na primjer, ako se promatra prometnica vezana isključivo za centar grada za koju se zna da je na njoj zabranjen promet vozilima preko 3,5 tone, u izborniku „**By sector**“ udio svih vozila preko 3,5 tone postavlja se na 0%. Odnosno, ako se zna da je na nekoj prometnici zabranjen pristup svim vozilima koji ne zadovoljavaju određeni emisijski razred, u izborniku „**By technology**“ odabiru se svi emisijski razredi koji ne zadovoljavaju taj uvjet i njihov udio postavlja se na 0%.

Kako bi se korisniku dodatno olakšalo korištenje različitih scenarija, COPERT Street Level u izborniku Advanced sadrži i funkcije „**Export**“ i „**Import**“. Funkcija „**Export**“ dozvoljava korisniku da na računalo spremi CSL datoteku koja sadrži sve postavljene parametre flote za kasniju upotrebu. Funkcija „**Import**“ dozvoljava korisniku da učita ranije postavljene parametre flote kako ne bi morao svaki puta ispočetka postavljati parametre.

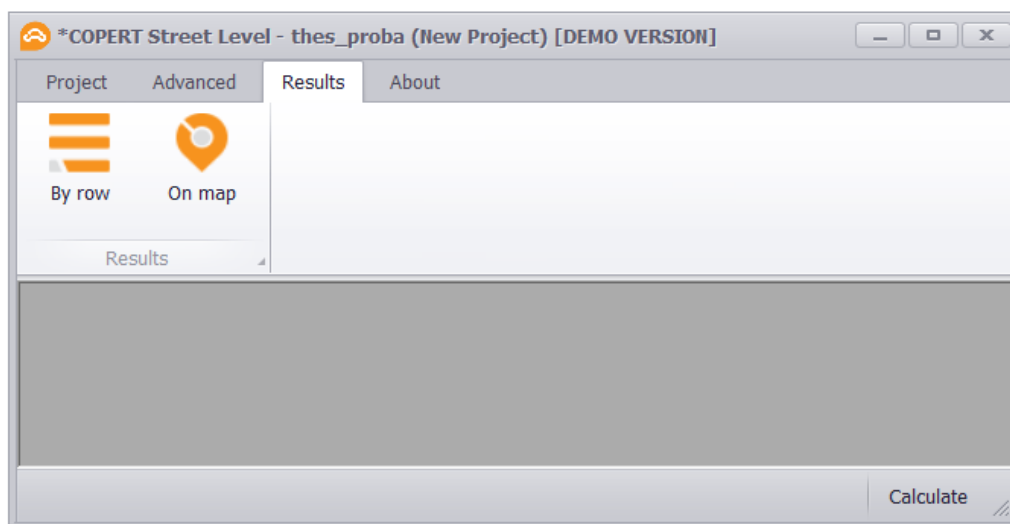
Bitno je za naglasiti da prilikom učitavanja CSL datoteke koja sadrži parametre flote, ona mora u sebi sadržavati jednak broj tipova flota i iste vremenske periode kao i početna datoteka definirana u izborniku Project.



Slika 2.7. Informacije o CSL parametrima flote

2.3.3 Izbornik Results

COPERT Street Level nema mogućnost automatskog izračuna rezultata. Nakon što se unesu svi potrebni parametri, potrebno je u donjem desnom uglu pritisnuti „**Calculate**“ kako bi se izračunale emisije štetnih tvari. Nakon što je izračun izvršen, u izborniku se pojavljuju dvije mogućnosti, „**By row**“ i „**On map**“ prema Slici 2.8.



Slika 2.8. Izbornik Results

Funkcija „**By row**“ ispisuje rezultate izračuna za svaku prometnicu te omogućava korisniku da rezultate spremi kao zasebnu MS Excel datoteku.

Funkcija „**On map**“ na karti prikazuje rezultate izračuna za svaku prometnicu definiranu u ulaznim podacima. Crvena boja označava prometnice s najvišim udjelom emisija štetnih tvari, a zelena boja prometnice s niskim udjelom emisija štetnih tvari. Funkcija „**On map**“ je omogućena samo ako su unesene koordinate promatranih prometnica.

2.3.4 Izbornik About

Ovaj izbornik sadrži informacije vezane za registraciju i unos licence korisnika.



Slika 2.9. Izbornik About

2.4 Rad u programu COPERT Street Level na primjeru prometnica u Zagrebu

2.4.1 Pretpostavke i ograničenja

Specifičnost COPERT Street Levela je da je to program osmišljen za paralelan rad zajedno sa alatima za brojanje prometa. Pojedini alati za brojanje prometa u sebi imaju mogućnost prepoznavanja pojedine kategorije vozila i njihovo svrstavanje u pojedine grupe. U Zagrebu trenutno ne postoje takvi alati, iz tog razloga će se vrijednosti broja vozila uzimati procjenjene, ali u konačnici rezultati ne bi trebali značajno odstupati od stvarnih vrijednosti.

Također nije poznat podatak o strukturi vozila koja prometuju pojedinom prometnicom, jer taj podatak nikad nije konstantan. Struktura vozila se mijenja iz sata u sat, stoga ju je bez posebnih alata za brojanje i razvrstavanje prometa moguće samo pretpostaviti. Kako bi se umanjila pogreška, uzimat će se prosječna struktura registriranih vozila Republike Hrvatske uz manje promjene ovisno o promatranoj prometnici.

Kako bi se prikazao rad u programskom paketu COPERT Street Level, koristit će se pretpostavljeni prosječni podaci o prometu, pretpostavljeni na osnovu projektantnih zahtjeva za prometnice i podataka dobivenih mjerenjem broja vozila. Obuhvaćene prometnice su Slavonska avenija, Avenija Marina Držića, Ulica Grada Vukovara, Ulica Hrvatske Bratske Zajednice (smjer od Slavonske avenije do Ulice Grada Vukovara) i ostale prometnice koje se nalaze u zoni između navedenih prometnica. Izuzeta je većina slijepih i sabirnih ulica zbog ne pouzdanosti određivanja gustoće prometa i niskog utjecaja na emisije štetnih tvari. Neke od njih su ipak uvrštene u proračun kako bi se mogao vidjeti njihov utjecaj na ukupne emisije.

2.4.2 Promatrane prometnice

Slavonska avenija je jedna od najopterećenijih prometnica u Zagrebu sa dnevnim prometom između 40,000 i 50,000 vozila [7]. Ona je sastavni dio europskog pravca E70 koji se proteže od španjolskog grada La Coruna sve do gruzijskog grada Poti i predstavlja jednu od značajnijih europskih prometnica. Karakteristika Slavonske avenije je iznimno velika gustoća prometa uz relativno visoku brzinu vožnje, te ujedno ova prometnica je poveznica istočnog i zapadnog dijela Grada Zagreba. Na ovoj prometnici odvija se povećan promet teretnih vozila zbog utjecaja europskog pravca E70 i iz razloga što ova prometnica povezuje glavne logističke pravce.

Avenija Marina Držića predstavlja važnu prometnu poveznicu između sjevera i juga Grada Zagreba. Karakteristika ove prometnice je visok udio autobusnog prometa, jer se upravo na njoj nalazi zagrebački autobusni kolodvor.

Ulica grada Vukovara i Ulica Hrvatske Bratske Zajednice su glavne gradske ceste izrazito velike gustoće prometa. Njihova karakteristika je povećan broj prometnih traka radi lakšeg vođenja prometa.

Ova zona predstavlja odličan primjer za prikaz rada programa COPERT Street Level zbog svoje raznolike strukture vozila u odnosu na ostale gradske prometnice.

2.4.3 Broj vozila na pojedinoj prometnici

Uzimajući u obzir podatke prema [7] dnevnog prometa kada je gustoća prometa najveća i podatke kada je gustoća prometa najmanja, prosječan broj vozila koji prođe Slavonskom Avenijom u jednom satu procjenjuje se oko 2350 vozila po satu. Ovom prometnicom odvija se povećan promet teretnih vozila i lakih gospodarskih vozila, te je iz tog razloga potrebno korigirati strukturu vozila.

Avenija Marina Držića i Ulica grada Vukovara predstavljaju glavne gradske ulice čije projektantsko opterećenje iznosi 600 vozila po satu u jednoj prometnoj traci uz pretpostavku 45 % zelenog vremena i bez manevara parkiranja. Pri određivanju njihove strukture vozila potrebno je u obzir uzeti utjecaj autobusnog kolodvora koji se nalazi u blizini tih dviju prometnica i na odgovarajući način korigirati strukturu vozila koja prometuju tim prometnicama.

Ulica Hrvatske Bratske Zajednice povezuje Slavonsku Aveniju sa Ulicom Grada Vukovara te čini svojevrsan pristup centru grada. Prosječan promet iznosi 2750 vozila u satu. Ovom prometnicom prometuju sve kategorije vozila bez posebnih zahtjeva, pa će se njena struktura uzimati jednaka unaprijed zadanoj strukturi.

Za ostale gradske ulice koristit će se vrijednosti od 300 vozila u jednoj traci po satu za glavne prometne ulice i 75 vozila po traci po satu za manje ulice. Navedena vrijednost je karakteristična projektantska vrijednost za gradsku ulicu uz pretpostavku od 30 % zelenog vremena i uključenim manevrima parkiranja. Za manje ulice koje se ubrajaju u kategoriju sporednih prometnica na kojima se ne odvija značajan promet već služe kao pristup parkiralištima automobila procijenjen je broj od 20 automobila po traci u satu.

Kako je već naglašeno, u cilju prikaza rada programa COPERT: Street Level zanemarit će se utjecaj većine sporednih priključnih prometnica. Pregled će biti prikazan za jedan sat. Prosječna brzina bit će pretpostavljena pomoću internet programa za procjenu potrošnje goriva [9]. Takvi alati danas u sebi sadrže pohranjene podatke prosječne brzine dobivene pomoću GPS uređaja sadržanih u automobilskim navigacijskim uređajima. Na različitost prosječnih brzina utječu semafori, raskrižja, gustoća prometa i prometna ograničenja brzine uvjetovana naseljem.

Za godinu promatranja odabrana je 2016. i korišteni su podatci o strukturi vozila sadržani u programu COPERT: Street Level.

2.4.4 Definiranje novog projekta i ulazni podaci

MS Excel datoteka unaprijed je definirana i u sebi sadrži sve parametre potrebne za izračun emisija štetnih tvari.

Tablica 2.1. Ulazni podaci za primjer naselja Kruge

id	start_x	start_y	end_x	end_y	Speed(km/h)	Link Length(km)	Volume (PCUs)	Type
1	15,9797027700	45,7948931900	15,9794318700	45,8001517000	42	0,6	2750	3
2	15,9794318700	45,8001517000	15,9953507800	45,8009931600	38	1,2	1800	2
3	15,9953507800	45,8009931600	15,9992319300	45,7958918200	41	0,6	1800	2
4	15,9992319300	45,7958918200	15,9797027700	45,7948931900	46	1,5	2350	1
5	15,9852469000	45,8004508900	15,9860247400	45,7992316800	14	0,2	600	4
6	15,9860247400	45,7992316800	15,9861803100	45,7983789700	24	0,1	600	4
7	15,9861803100	45,7983789700	15,9875214100	45,7984088900	23	0,1	600	4
8	15,9875214100	45,7984088900	15,9891414600	45,7972943600	33	0,2	600	4
9	15,9891414600	45,7972943600	15,9907829800	45,7954467400	21	0,3	600	4
10	15,9857296900	45,7995533200	15,9805664400	45,7990428200	26	0,4	75	4
11	15,9805664400	45,7990428200	15,9804725600	45,7969801900	16	0,3	150	4
12	15,9804725600	45,7969801900	15,9835839300	45,7971597200	16	0,2	150	4
13	15,9835839300	45,7971597200	15,9834873700	45,7980648100	26	0,1	75	4
14	15,9834873700	45,7980648100	15,9830153000	45,7987006100	21	0,1	75	4
15	15,9830153000	45,7987006100	15,9843027600	45,7994411200	19	0,2	75	4
16	15,9804725600	45,7969801900	15,9803867300	45,7952223300	15	0,2	75	4
17	15,9803867300	45,7952223300	15,9826988000	45,7952821700	18	0,2	75	4
18	15,9826988000	45,7952821700	15,9824533800	45,7971176400	15	0,2	75	4
19	15,9805677800	45,7989446400	15,9795056300	45,7989268800	21	0,1	150	4
20	15,9931540500	45,8008809700	15,9931862400	45,7996879500	20	0,1	150	4
21	15,9931862400	45,7996879500	15,9926658900	45,7994635600	40	0,1	150	4
22	15,9926658900	45,7994635600	15,9928536400	45,7969502700	21	0,2	150	4
23	15,9924915400	45,7955365000	15,9923332900	45,7969465300	18	0,1	150	4
24	15,9923332900	45,7969465300	15,9973168400	45,7971821600	25	0,4	150	4
25	15,9973168400	45,7971821600	15,9968125800	45,7978553700	30	0,1	150	4
26	15,9968125800	45,7978553700	15,9974026700	45,7983041700	23	0,1	150	4
27	15,9926578400	45,7990203800	15,9886533000	45,7995065700	21	0,3	75	4
28	15,9886533000	45,7995065700	15,9888893400	45,8006528400	14	0,1	150	4
29	15,9842705700	45,7994607500	15,9842169300	45,7997244200	20	0,1	10	4
30	15,9842169300	45,7997244200	15,9805691200	45,7992915200	28	0,3	10	4
31	15,9805691200	45,7992915200	15,9805664400	45,7990428200	20	0,1	10	4
32	15,9905040300	45,7957309900	15,9924137600	45,7961050100	21	0,1	150	4

Stupci start_x, start_y, end_x i end_y sadrže u sebi koordinate početaka i krajeva prometnica prema EPSG:4326, Geographical načinu prikazivanja koordinata. Koordinate služe prikazivanju prometnica na karti i dobivanju okvirnih rezultata u kg/km·h za svaku prometnicu.

Za početak rada potrebno je otvoriti izbornik „**Create**“ i u njemu naznačiti sve poveznice između ulazne datoteke i programa. U ovom primjeru ulazni podaci nalaze se u jednoj MS Excel datoteci, nisu strukturirani po satu i nalaze se na prvoj strani datoteke što znači da se polja „**One file per hour**“, „**Hour column**“ i „**Sheet name**“ ostavljaju neoznačena. Bitno je naznačiti da je odabran tip koordinata EPSG:4326 Geographic. Taj tip koordinata je najčešće korišten i najlakše mu je pristupiti putem Internet aplikacija.

The screenshot shows the 'Create project' dialog box with the following settings:

- Project name:** Kruga_završni_rad
- Input path:** C:\Users\Desktop\Krug\Krug.xlsx
- Baseline population:** Country: Croatia, Year: 2016
- Sheet name:** Leave blank to use first sheet
- Basic columns:** Link ID: 2 - B, Speed: 7 - G, Length: 8 - H, Volume: 9 - I, Type: 10 - J (checked), Hour: - (unchecked)
- GIS columns:** Start Lon: 3 - C, Start Lat: 4 - D, End Lon: 5 - E, End Lat: 6 - F, Projection type: EPSG:4326, Geogra... (checked)
- Node columns:** From node: - (unchecked), To node: - (unchecked)

Slika 2.10. Project Kruga

Nakon što je kreiran novi projekt postoje dvije mogućnosti. Moguće je odmah započeti izračun emisija štetnih tvari sa standardnom strukturom vozila ili dodatno mijenjati strukturu vozila koja se kreću promatranom prometnicom. U ovome slučaju u izborniku Project postavljena su četiri tipa strukture vozila.

Sector	Value
Passenger Cars	78.63 %
Light Commercial Vehicles	8.40 %
Heavy Duty Trucks	1.93 %
Buses	0.29 %
Mopeds	4.46 %
Motorcycles	6.29 %

Slika 2.11. Standardna struktura vozila prema CSL

Prvi tip strukture vozila poslužiti će prikazivanju prometa za Slavonsku aveniju. Iz strukture vozila izuzet će se kategorija moped i povećati će se udio lakih gospodarskih vozila i kamiona za otprilike 1 %.

Sector	Value
Passenger Cars	80.79 %
Light Commercial Vehicles	9.31 %
Heavy Duty Trucks	3.14 %
Buses	0.30 %
Mopeds	0.00 %
Motorcycles	6.46 %

Slika 2.12. Type 1

Drugi tip strukture vozila poslužiti će prikazivanju prometa za Aveniju Marina Držića i Ulicu Grada Vukovara. Iz strukture vozila povećat će se udio autobusnog prometa za 2 %.

Sector	Value
Passenger Cars	77.05 %
Light Commercial Vehicles	8.23 %
Heavy Duty Trucks	1.89 %
Buses	2.29 %
Mopeds	4.37 %
Motorcycles	6.16 %

Slika 2.13. Type 2

Treći tip strukture vozila poslužiti će prikazivanju prometa za Ulicu Hrvatske Bratske Zajednice. Za ovu prometnicu pretpostavljena struktura vozila je jednaka standardnoj strukturi vozila.

Četvrti tip strukture vozila poslužiti će prikazivanju prometa za ostale prometnice u naselju. Iz strukture vozila izuzet će se kategorije autobusa i teških teretnih kamiona i smanjit će se udio lakih gospodarskih vozila na 5 %.

Sector	Value
Passenger Cars	83.57 %
Light Commercial Vehicles	5.00 %
Heavy Duty Trucks	0.00 %
Buses	0.00 %
Mopeds	4.74 %
Motorcycles	6.69 %

Slika 2.14. Type 4

2.4.5 Izračun i prikaz rezultata

COPERT Street Level računa emisije ugljikovih oksida (CO i CO₂), dušikovih oksida (NO_x), sitnih čestica (PM) i isparljivih organskih spojeva (VOC).

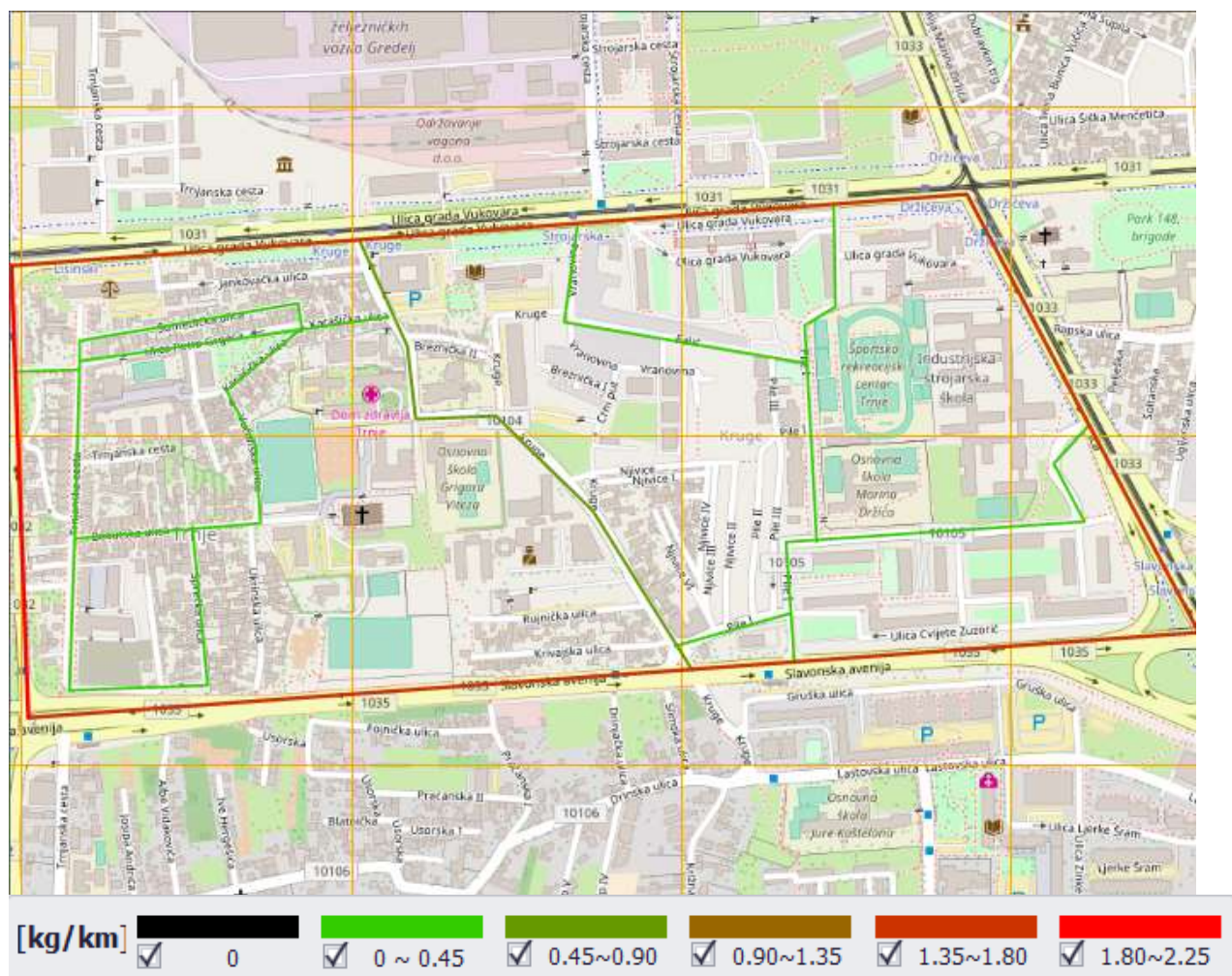
Kada je izvršen unos potrebnih podataka, izračun se provodi pritiskom na tipku „**Calculate**“ i rezultati se prikazuju ovisno o ulaznim podacima odabirom jedne od dviju opcija.

Opcija „**By row**“ rezultate izračuna emisija štetnih tvari pridružuje svakom segmentu prometnice definiranom sa Link ID. Rezultati se prikazuju u gramima za slobodan proračun ili u gramima po satu za proračun u vremenu.

Opcija „**On map**“ rezultate izračuna emisija štetnih tvari prikazuje vizualizacijom na karti ukoliko su definirane koordinate početka i kraja svake prometnice. Rezultati se prikazuju različitim bojama i u mjernoj jedinici kg/km.

Tablica 2.2. Reultati izračuna prikazani "By row"

Link ID	CO [g]	CO2 [g]	NOX [g]	PM [g]	VOC [g]
5	156,7035	30359,85	33,63353	0,921459	45,54905
28	19,58794	3794,982	4,204191	0,115182	5,693631
16	19,02511	3687,244	4,135985	0,113425	5,550563
18	19,02511	3687,244	4,135985	0,113425	5,550563
11	55,4999	10761,28	12,21154	0,335316	16,24781
12	36,99993	7174,185	8,141024	0,223544	10,83188
17	17,55362	3406,728	3,946819	0,108743	5,169837
23	17,55362	3406,728	3,946819	0,108743	5,169837
15	17,12835	3325,337	3,888237	0,107351	5,057404
20	16,73339	3249,229	3,831564	0,106032	4,951489
29	1,115559	216,6153	0,255438	0,007069	0,330099
31	1,115559	216,6153	0,255438	0,007069	0,330099
9	196,3739	38132,76	45,32303	1,257382	58,2203
14	8,182245	1588,865	1,88846	0,052391	2,425846
19	16,36449	3177,73	3,776919	0,104782	4,851692
22	32,72898	6355,461	7,553839	0,209564	9,703384
27	24,54673	4766,596	5,665379	0,157173	7,277538
32	16,36449	3177,73	3,776919	0,104782	4,851692
7	62,81591	12190,48	14,69151	0,409872	18,67634
26	15,70398	3047,62	3,672877	0,102468	4,669085
6	61,63779	11953,51	14,49331	0,405589	18,34253
24	60,54772	11730,58	14,30137	0,40152	18,02806
10	29,77032	5760,359	7,057732	0,198826	8,865927
13	7,44258	1440,09	1,764433	0,049707	2,216482
30	2,887835	556,839	0,688053	0,019524	0,859505
25	14,06272	2698,902	3,357203	0,096005	4,177403
8	108,8918	20706,26	25,93971	0,751032	32,17811
2	1795,267	408075,5	607,8389	15,67423	515,5003
21	12,97687	2394,502	3,017532	0,09012	3,75283
3	883,6464	198028,9	293,4355	7,663305	251,1828
1	1349,448	276642,9	372,6285	10,57946	386,1739
4	2484,042	603166,3	797,0383	19,00155	413,4069



Slika 2.15. Rezultati izračuna prikazani opcijom "On map"

2.4.6 Interpretacija dobivenih rezultata

Na temelju pretpostavljenih vrijednosti dobiveno je da na promatranom području vozila u prosjeku ispuste u okoliš:

Tablica 2.3. Ukupne prosječne štetne emisije izražene u kg

CO [kg]	7,56
CO ₂ [kg]	1688,88
NO _x [kg]	2,31
PM [kg]	0,06
VOC [kg]	1,876

Iz rezultata je vidljivo da četiri glavne ulice: Slavonska avenija (ID=4), Avenija Marina Držića (ID=3), Ulica Grada Vukovara (ID=2) i Ulica Hrvatske Bratske Zajednice (ID=1) su zaslužne za 86.12 % emisije CO, 87.98 % emisije CO₂, 89.63 % emisije NO_x, 88.79 % emisije PM i 83.5 % emisije VOC.

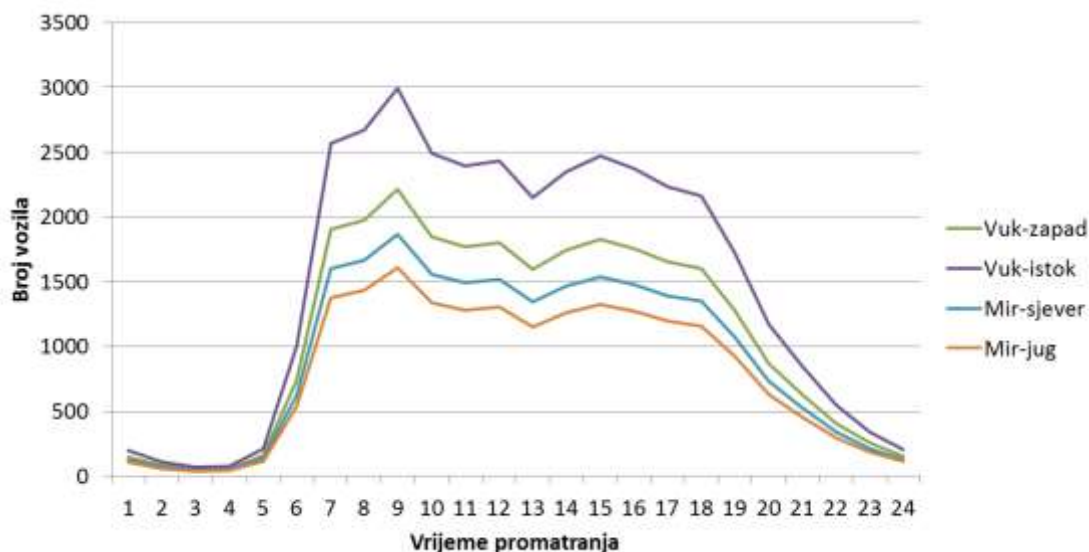
Ako ovim prometnicama dodamo još i utjecaj ulice Kruge koja predstavlja glavni prometni pravac kroz naselje, utjecaj velikih prometnica raste na 93.88 % emisije CO, 94.69 % emisije CO₂, 95.44 % emisije NO_x, 95.08 % emisije PM i 92.72 % emisije VOC, što ostala 23 promatrana prometna segmenta čini manje važnima pri promatranju emisija štetnih tvari. Kada bi proračunu pridodali sve prometne segmente koji su izostavljeni iz izračuna, njihov udio bi iznosio oko 10 % ukupne štetne emisije.

Ovime je potvrđena ranije navedena pretpostavka kako manje gradske ulice ne doprinose značajno izračunu emisija štetnih tvari te ih je moguće izostaviti iz izračuna. Takav potez bi značajno skratio vrijeme potrebno za pripremu podataka i provedbu izračuna.

2.5 Utjecaj strukture vozila na raskrižju Ulice grada Vukovara i Miramarske ulice

2.5.1 Broj, brzina i struktura vozila

Brojanjem prometa za jedan sat, te kasnijom aproksimacijom broja vozila uz pomoć primjera gradskog prometnog toka dobiven je približan broj vozila koji prođe promatranom prometnicom u jednom danu. Promet je aproksimiran na način da su zanemareni smjerovi kretanja, te je praćen broj vozila na izlazu iz raskrižja.

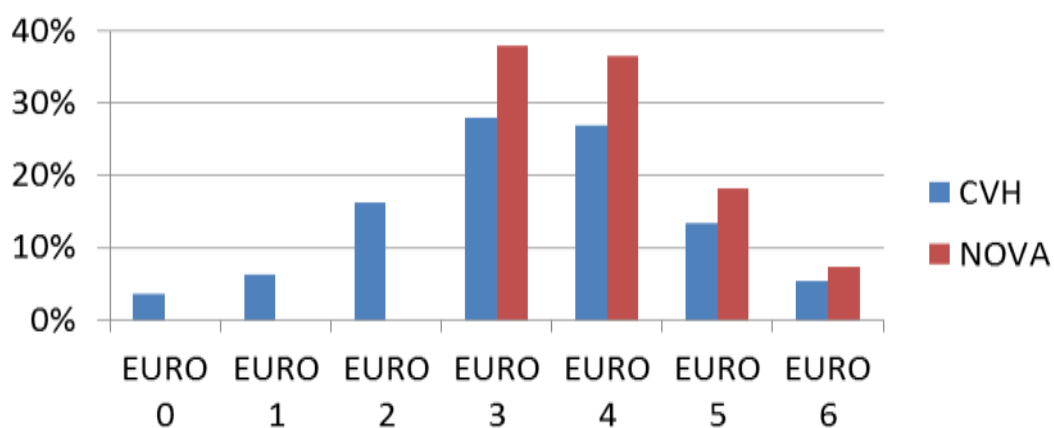


Slika 2.16. Procjena prometa promatranog raskrižja

Za duljinu promatranog segmenta u obzir je uzeto 100 metara u svaku stranu od sredine raskrižja. Upravo takav pristup omogućio je realniju procjenu prosječne brzine vozila kroz raskrižje, jer na brzinu vozila u raskrižju znatno utječu promjene smjera kretanja i sustavi regulacije prometa što značajno snižava prosječnu brzinu vozila. Za prosječnu brzinu vozila odabrane su vrijednosti od 25 km/h za Ulicu grada Vukovara i 18 km/h za Miramarsku ulicu. Na aproksimaciju brzine utjecalo je vrijeme otvorenosti i zatvorenosti sustava za regulaciju prometa na svakoj od promatranih prometnica.

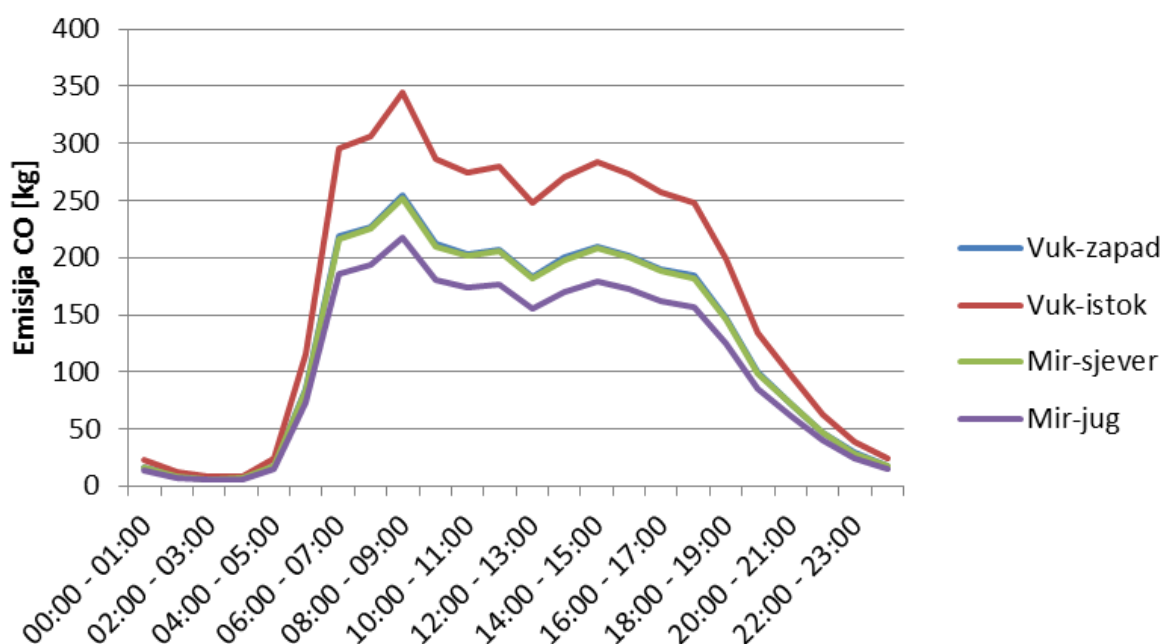
Za strukturu vozila odabrana je struktura vozila prema podacima o registriranim vozilima Republike Hrvatske kasnije prikazana u radu, sa udjelima 50:50 u odnosu na pogonsko gorivo. Strukturu sačinjavaju samo osobni automobili jer oni čine preko 90% prometa na promatranom raskrižju, te time predstavljaju najveći izvor emisija štetnih tvari.

Za kraj je predstavljena nova struktura vozila bez Euro 0, 1 i 2 emisijskih razreda kako bi se uočila promjena emisije štetnih tvari.



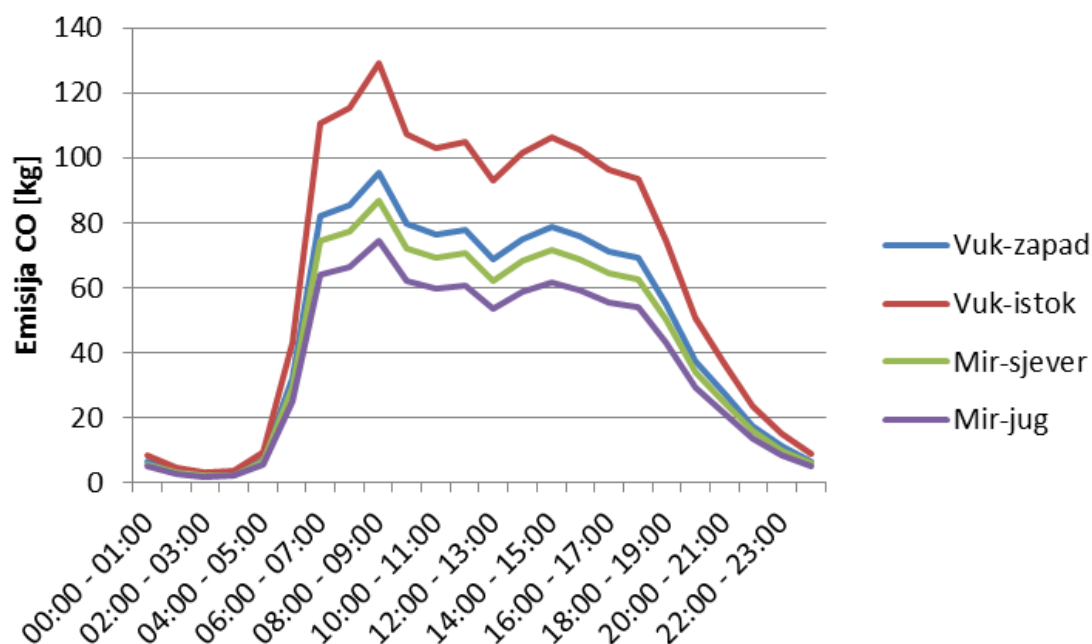
Slika 2.17. Promatrane strukture vozila

2.5.2 Utjecaj strukture na emisiju



Slika 2.18. Emisija CO za standardnu strukturu vozila

Vidljivo je preklapanje iznosa za Ulicu grada Vukovara za smjer zapad i Miramarske ulice za smjer sjever. Do preklapanja dolazi zato što prometnica sa manjim brojem vozila i nižom prosječnom brzinom na štetne emisije utječe jednako kao i prometnica sa većim brojem vozila i višom prosječnom brzinom. Iz ovoga se zaključuje kako brzina vožnje ima jako velik utjecaj na emisiju štetnih tvari što će kasnije biti prikazano pomoću emisijskih faktora.



Slika 2.19. Emisija CO za novu strukturu vozila

Uspoređivanjem rezultata uočljiva je razlika u emisiji ugljikova monoksida od 62,49% za Ulicu grada Vukovara i 65,66% za Miramarsku ulicu što predstavlja značajno poboljšanje.

Provedbom proračuna za NO_x i PM dobivaju se slični rezultati. Ukidanjem vozila Euro 0, Euro 1 i Euro 2 dobiveno je smanjenje emisije NO_x spojeva od 10,61% za Ulicu grada Vukovara i 10,63% za Miramarsku ulicu, dok je za emisiju krutih čestica dobiveno poboljšanje od 38,74% za Ulicu grada Vukovara i 39,89% za Miramarsku ulicu.

3 EMISIJSKI FAKTOR U OVISNOSTI O BRZINI I STRUKTURI VOZILA

3.1 Emisijski faktor

Kako bi se dublje prikazao način rada programa COPERT: Street Level, uvodi se pojam emisijski faktor.

Procjene emisija štetnih tvari se uobičajeno računaju da se odgovarajuća statistika aktivnosti prometa množi sa točno određenim emisijskim faktorom.

$$Emisija = Emisijski\ faktor \times Aktivnost$$

Emisijski faktori izvedeni su iz mjerenja brojnih izvora štetnih emisija te su izraženi u g/km.

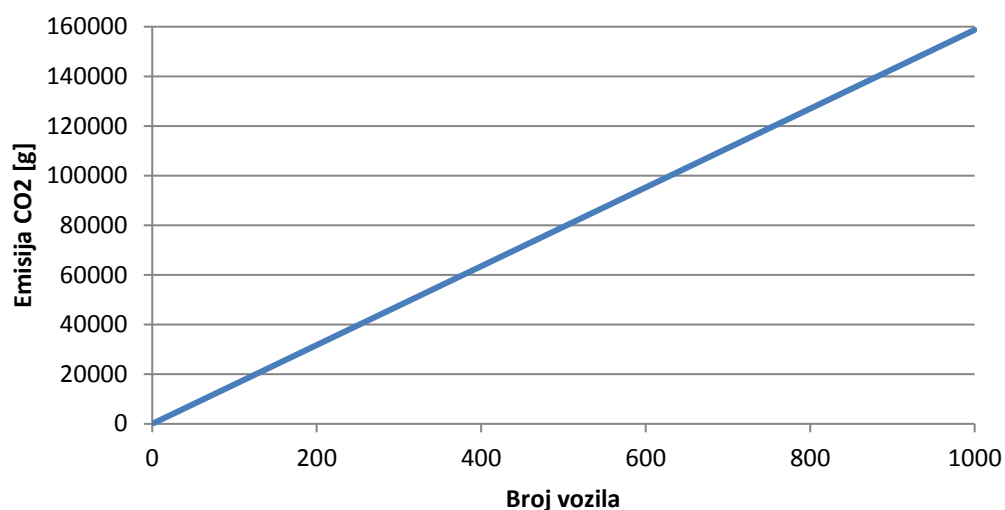
Pomoću emisijskih faktora promatrat će se realnost podataka strukture vozila sadržanih u COPERT: Street Levelu pomoću podataka prema registriranim vozilima u Republici Hrvatskoj. Uz to će se promatrat promjene emisijskih faktora osobnih vozila između 2007. i 2016. godine. Za kraj će biti usporedba emisijskih faktora sadržanih u COPERT: Street Levelu sa emisijskim faktorima prema HBEF-i.

3.2 Emisijski faktori za sve kategorije vozila u Republici Hrvatskoj pomoću strukture vozila sadržane u COPERT: Street Levelu za 2016. godinu

3.2.1 Pregled emisijskih faktora COPERT: Street Level-a

Pri formiranju emisijskih faktora pojedinog tipa vozila u ovisnosti o njegovoj brzini, bitno je prvo uočiti utjecaj broja vozila i duljine promatranog segmenta kako bi se shvatio princip rada COPERT: Street Levela, te pomoću toga olakšao proračun emisijskih faktora.

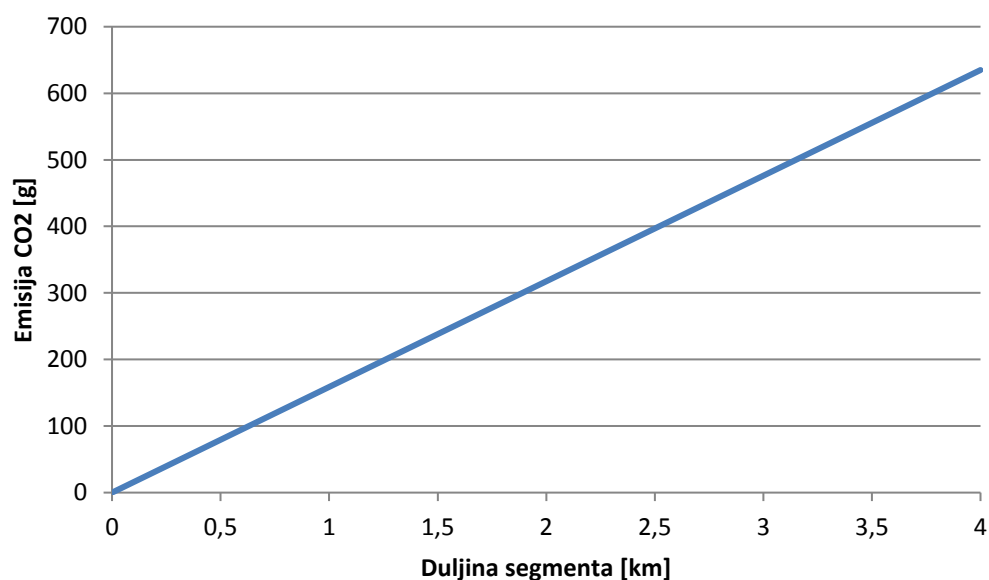
Prvo će se promatrati utjecaj broja vozila na emisiju. Ako se postavi više slučajeva sa istom strukturom vozila, istom brzinom vozila i istom duljinom prometnice, ali različitim brojem vozila uočava se da štetne emisije rastu linearno sa porastom broja vozila.



Slika 3.1. Utjecaj broja vozila na emisijski faktor

Iz ovoga je vidljivo kako broj vozila nema utjecaj na emisijski faktor pa će se za izračun emisijskog faktora koristiti jedno vozilo.

Nadalje, bitno je uočiti kako na emisijski faktor utječe duljina promatranog segmenta. Ako se za isti broj vozila, istu strukturu vozila i istu prosječnu brzinu vozila, ali različitu duljinu segmenta provede proračun, dobije se sljedeći rezultat.

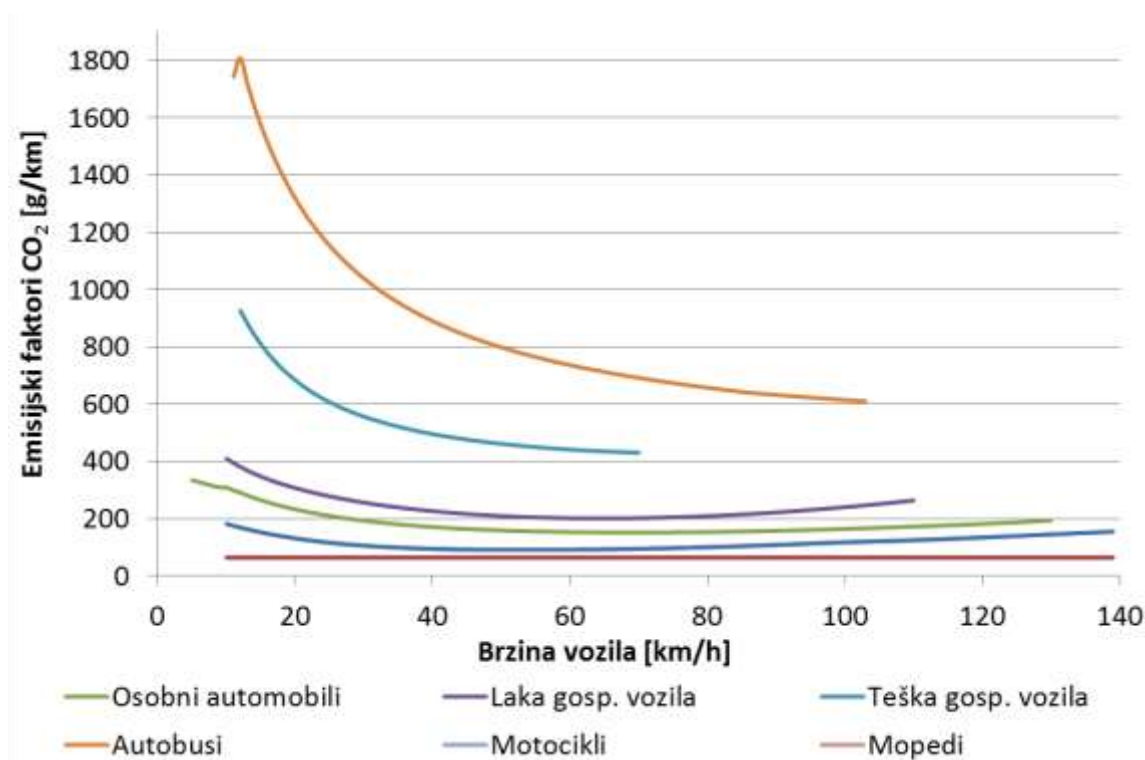


Slika 3.2. Utjecaj duljine segmenta na emisijski faktor

Iz ovoga je vidljivo kako ni duljina promatranog segmenta nema utjecaj na emisijski faktor pa će se za izračun emisijskog faktora koristiti segment duljine jedan kilometar kako bi dobiveni rezultati bili izraženi u g/km.

Nakon što je uočeno da broj vozila i duljina segmenta nemaju utjecaj na formiranje emisijskog faktora, odnosno da su oni linearno zavisni moguće je duljinu segmenta postaviti na jedan kilometar, a broj vozila na jedno vozilo kako bi se olakšalo pronalaženje emisijskih faktora korištenih u COPERT: Street Levelu.

3.2.2 Emisijski faktori dobiveni proračunom emisija štetnih tvari

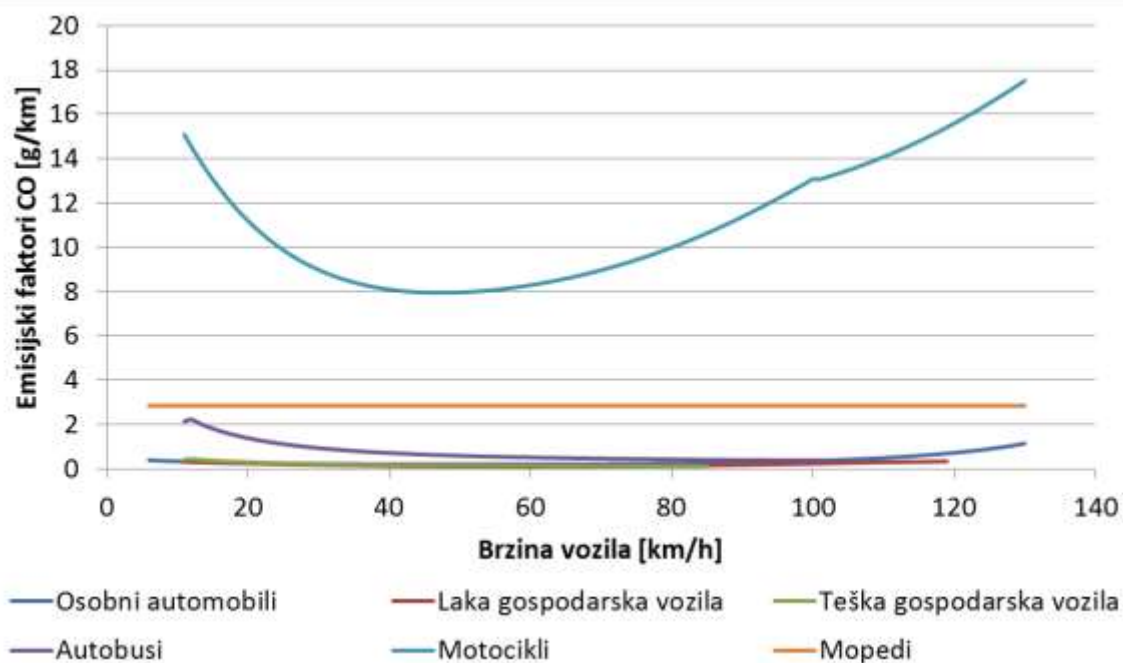


Slika 3.3. Emisijski faktori CO₂ prema COPERT:Street Levelu

Prema emisijskim faktorima CO₂ autobusi predstavljaju najveći izvor stakleničkih plinova, no njihov udio u prometu je iznimno malen.

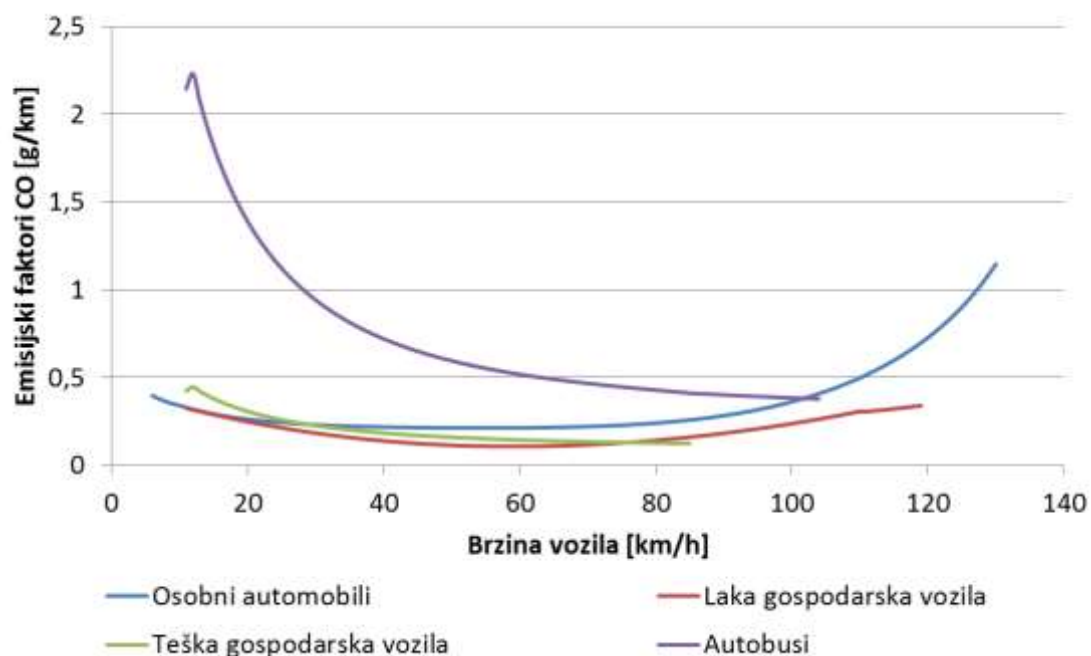
Iz dijagrama je vidljivo kako je emisijski faktor mopeda konstantan što nije realno, ali njihova emisija i njihov udio u prometu je dovoljno malen da je time generirana pogreška zanemariva.

Osobni automobili iako niski po vrijednosti emisijskog faktora, iznimno su visoki svojim udjelom u prometu, što ih čini najvećim izvorom štetnih emisija.

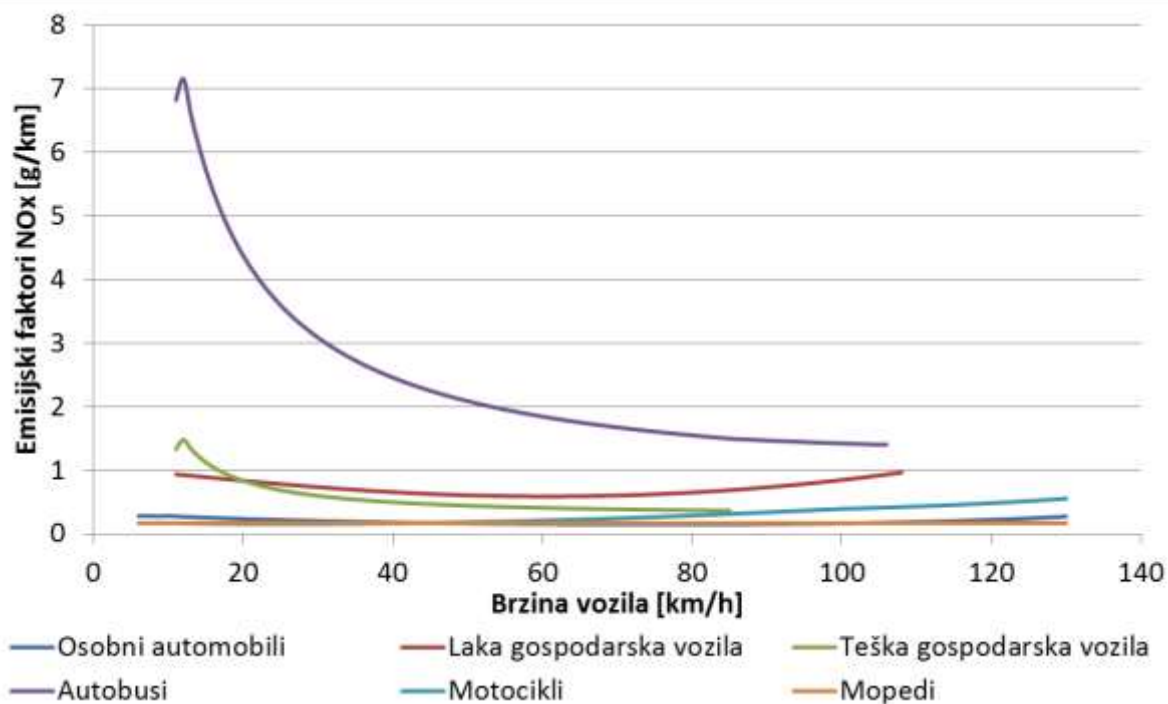


Slika 3.4. Emisijski faktori CO prema COPERT:Street Levelu

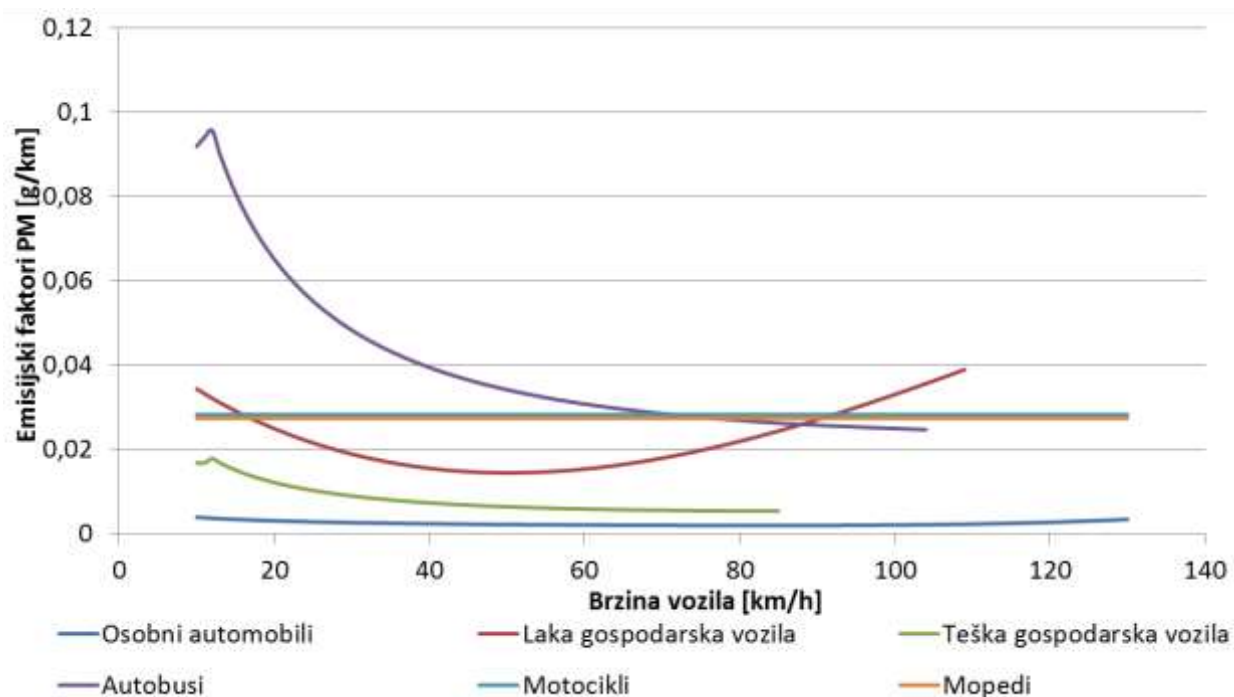
Kod emisije ugljikova monoksida (CO) predvodnici su motocikli i mopedi. Emisijski faktor motocikala doseže vrijednosti i nekoliko puta veće od ostalih kategorija što ga čini daleko najvećim izvorom CO. Na Slici 3.5. vide se emisijski faktori CO prema COPERT: Street Levelu bez utjecaja motocikala i mopeda radi lakšeg uočavanja razlika.



Slika 3.5. Emisijski faktori CO prema COPERT:Street Levelu bez motocikala i mopeda



Slika 3.6. Emisijski faktori NOx prema COPERT:Street Levelu



Slika 3.7. Emisijski faktori PM prema COPERT:Street Levelu

3.3 Usporedba strukture vozila i izračunatih rezultata za 2016. godinu

Struktura vozila Republike Hrvatske za 2016. godinu sadržana u COPERT: Street Levelu znatno se razlikuje od stvarne strukture vozila na hrvatskim prometnicama. Kao referentna struktura vozila uzet će se sva vozila registrirana u Republici Hrvatskoj prema podacima Centra za vozila Hrvatske. Promatrana struktura odnosit će se samo za osobna vozila jer su upravo ona najznačajniji izvor emisija štetnih tvari.

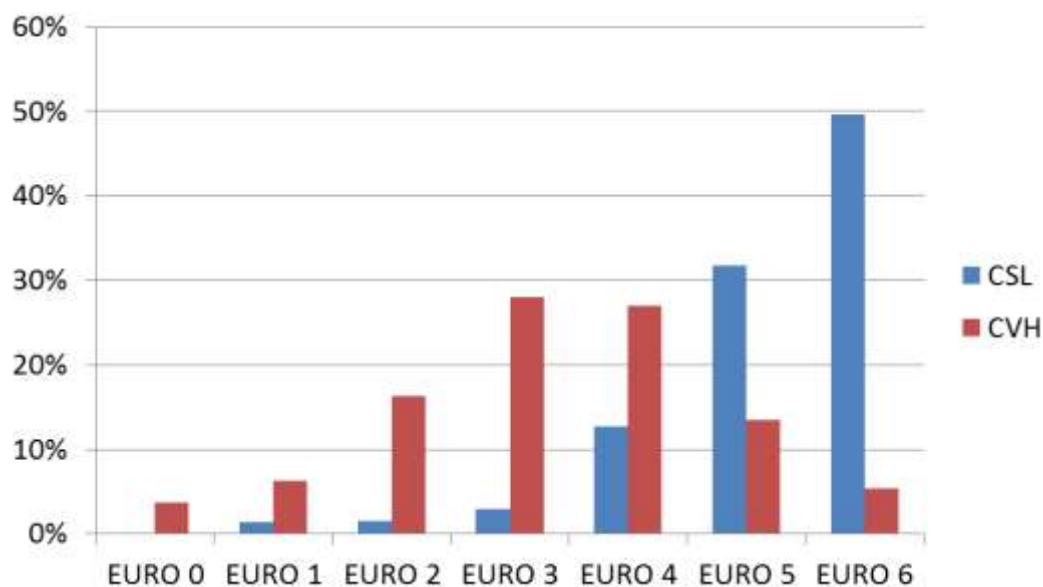
3.3.1 Razlika strukture vozila

Prvo je bitno uočiti kako COPERT: Street Level pristupa izračunu štetnih emisija sa 58,92 % automobila pogonjenih Ottovim motorom i 39,15 % automobila pogonjenih Diesellovim motorom, gdje ostatak čine vozila pogonjena plinom i vozila sa hibridnim pogonom. Realna struktura vozila je približna 50 % s Ottovim motorom i 50 % s Diesellovim motorom. Zbog lakšeg proračuna sa strukturom vozila prema CVH zanemarivat će se automobili pogonjeni plinom i automobili sa hibridnim pogonom.

Nadalje, iznimno je bitno uočiti podjelu vozila prema emisijskim razredima. Podatci prema CVH prikazuju realne vrijednosti strukture vozila dok podatci sadržani u COPERT: Street Levelu sadrže znatno mlađu i emisijski povoljniju strukturu vozila.

Tablica 3.1. Udio vozila po emisijskim razredima

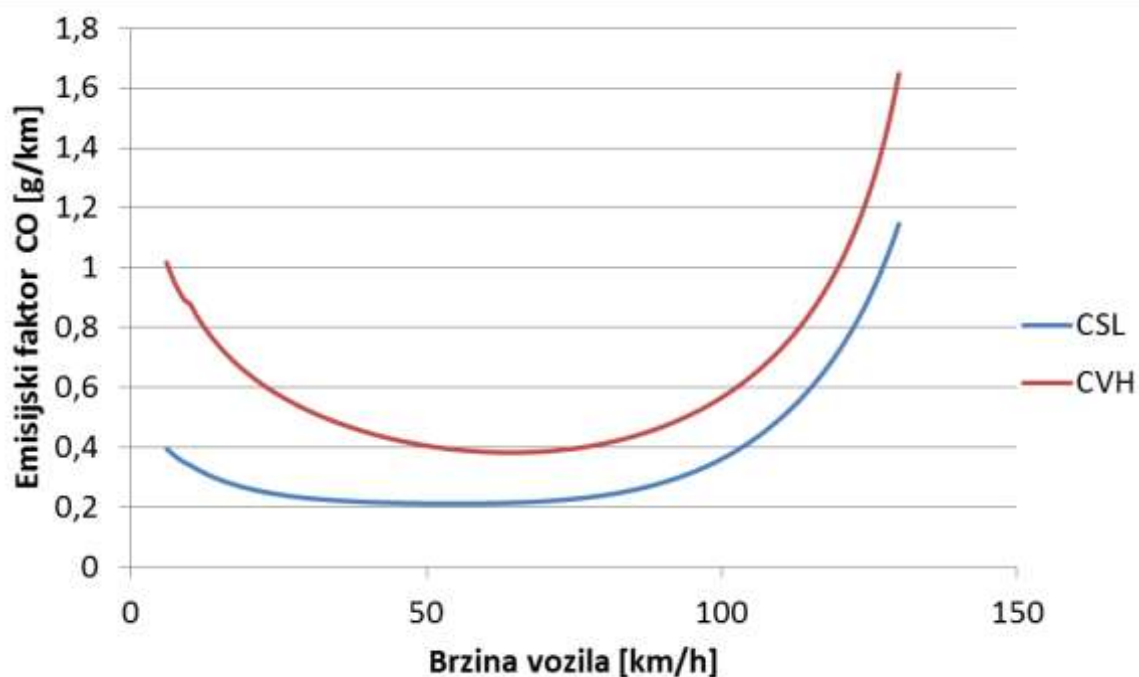
	CSL	CVH
EURO 0	0,09%	3,69%
EURO 1	1,45%	6,32%
EURO 2	1,48%	16,25%
EURO 3	2,94%	27,95%
EURO 4	12,69%	26,95%
EURO 5	31,73%	13,43%
EURO 6	49,63%	5,37%



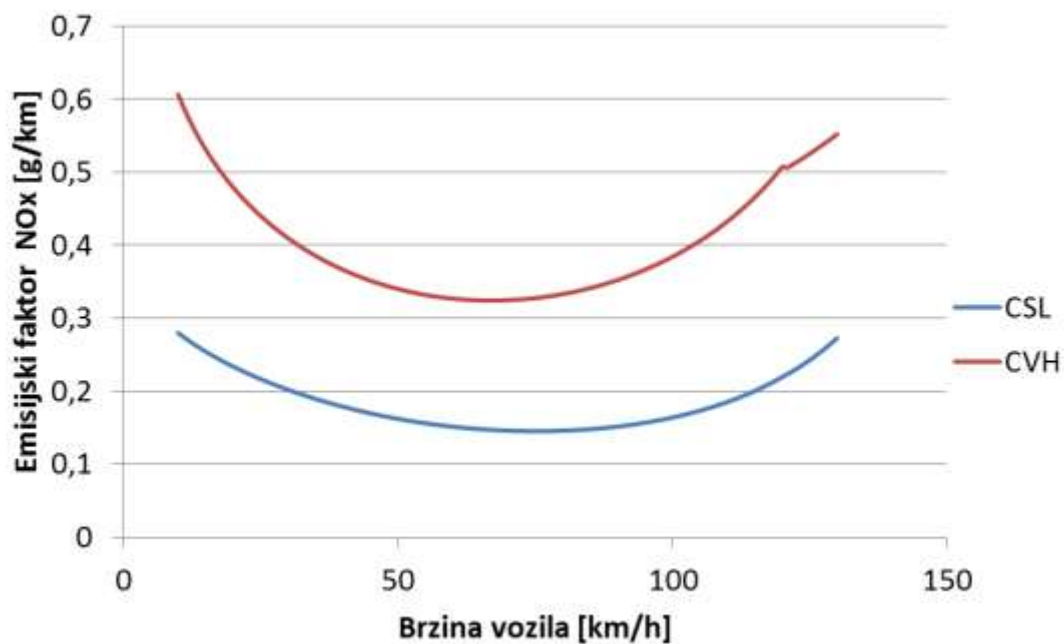
Slika 3.8. Usporedba strukture vozila prema emisijskim razredima

Struktura prema COPERT: Street Levelu nije ni približno slična stvarnoj strukturi registriranih osobnih automobila, što znači da će rezultati uspoređivanih emisijskih faktora biti značajno različiti.

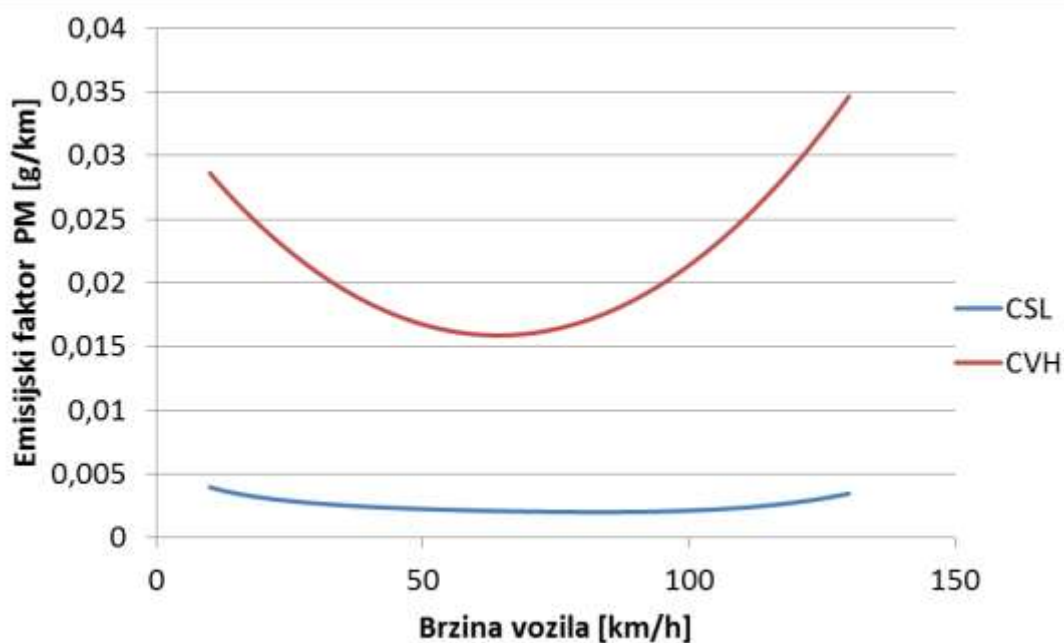
3.3.2 Razlika emisijskih faktora



Slika 3.9. Usporedba emisijskih faktora CO



Slika 3.10. Usporedba emisijskih faktora NOx



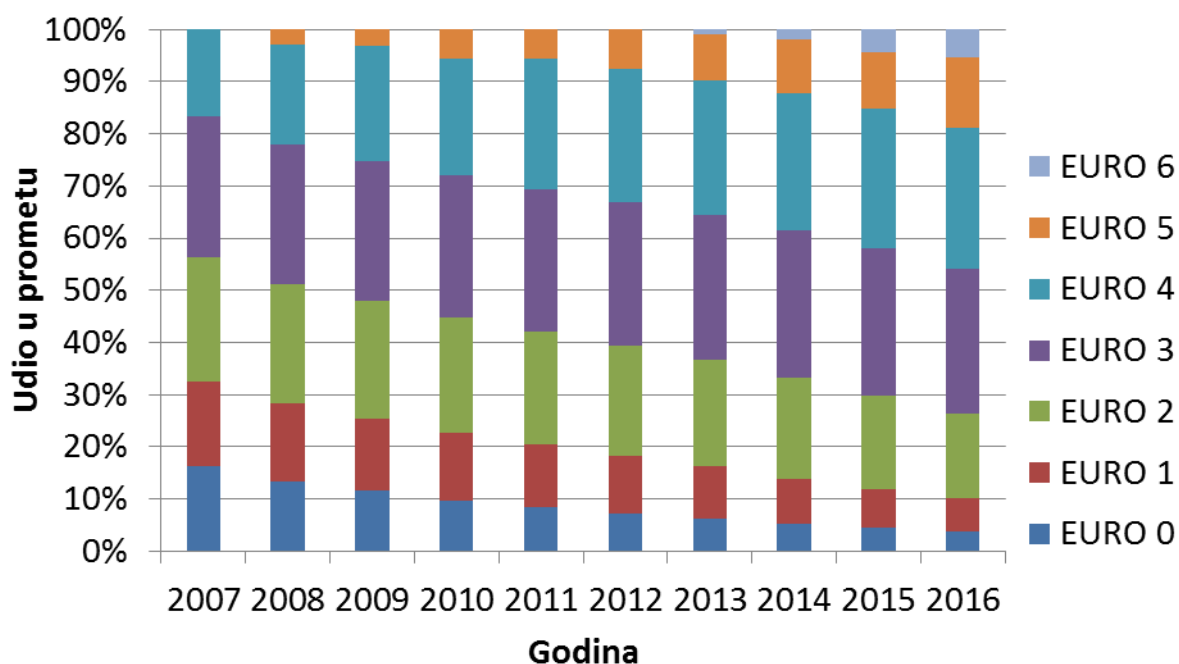
Slika 3.11. Usporedba emisijskih faktora PM

Iz dijagrama emisijskih faktora je vidljivo kako proračun štetnih emisija pomoću strukture sadžane u COPERT: Street Levelu nebi postigao odgovarajuću točnost. Da bi se mogao provest proračun štetnih emisija, neophodno je dobro poznavanje stvarne strukture vozila.

3.4 Trend smanjenja emisijskih faktora

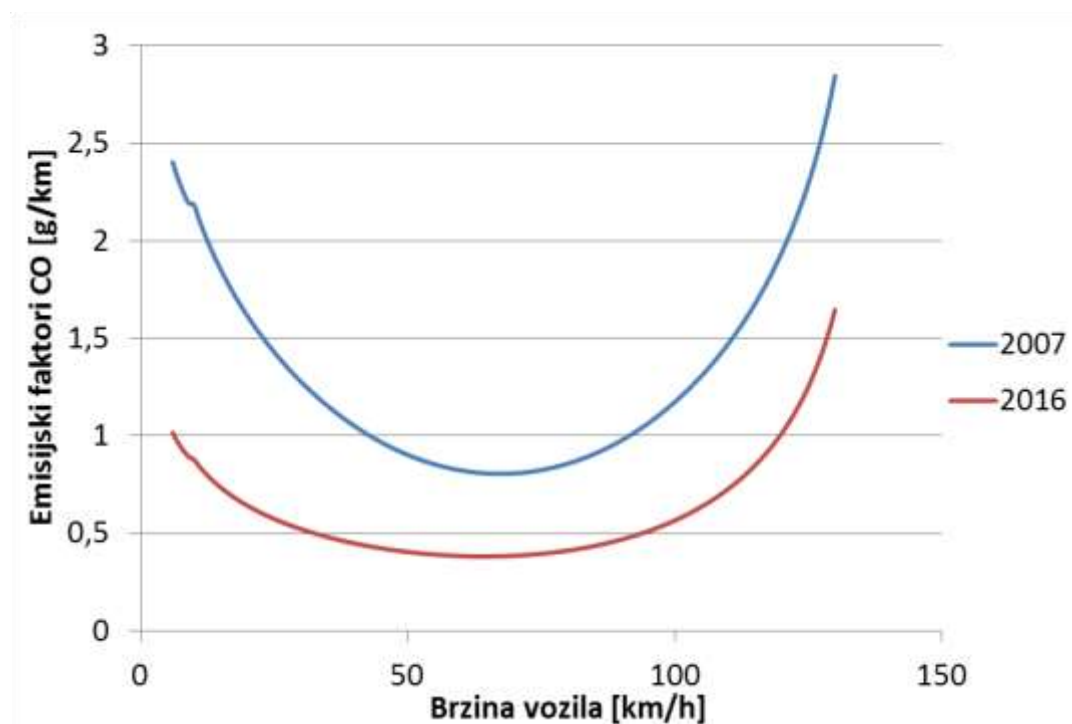
Poznavajući udio emisijskih razreda u strukturi osobnih automobila kroz godine, moguće je pratiti trend smanjenja ukupnih emisijskih faktora.

Ukupni broj vozila bilježi rast od 11,96 %.

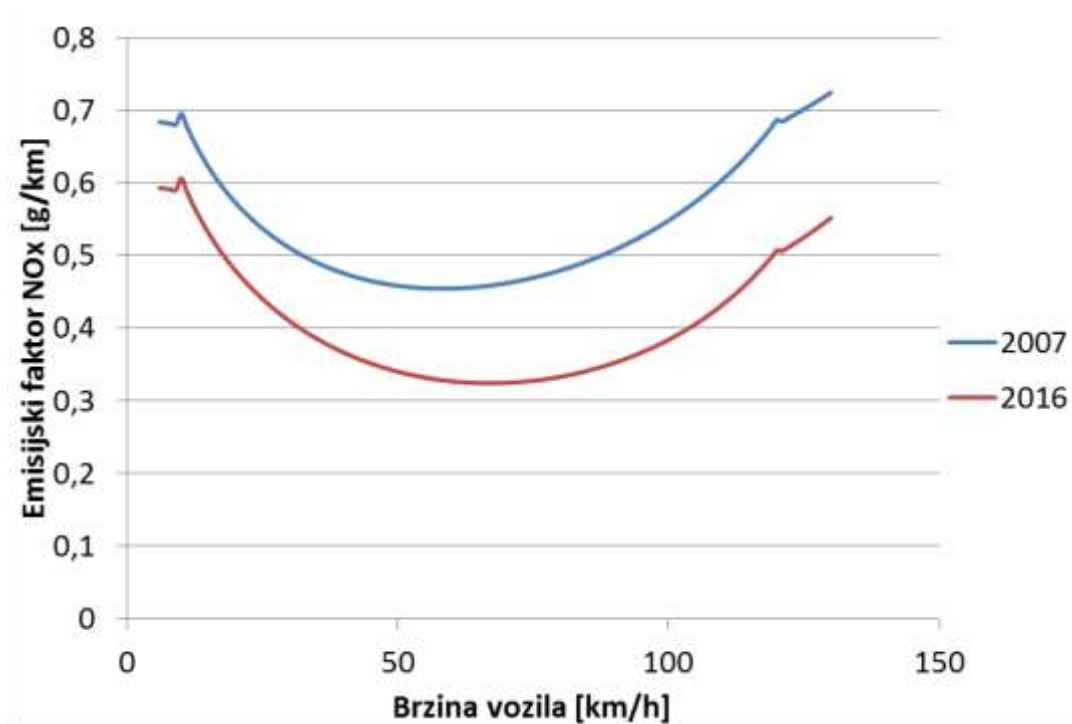


Slika 3.12. Udio pojedinih emisijskih razreda u prometu osobnih automobila

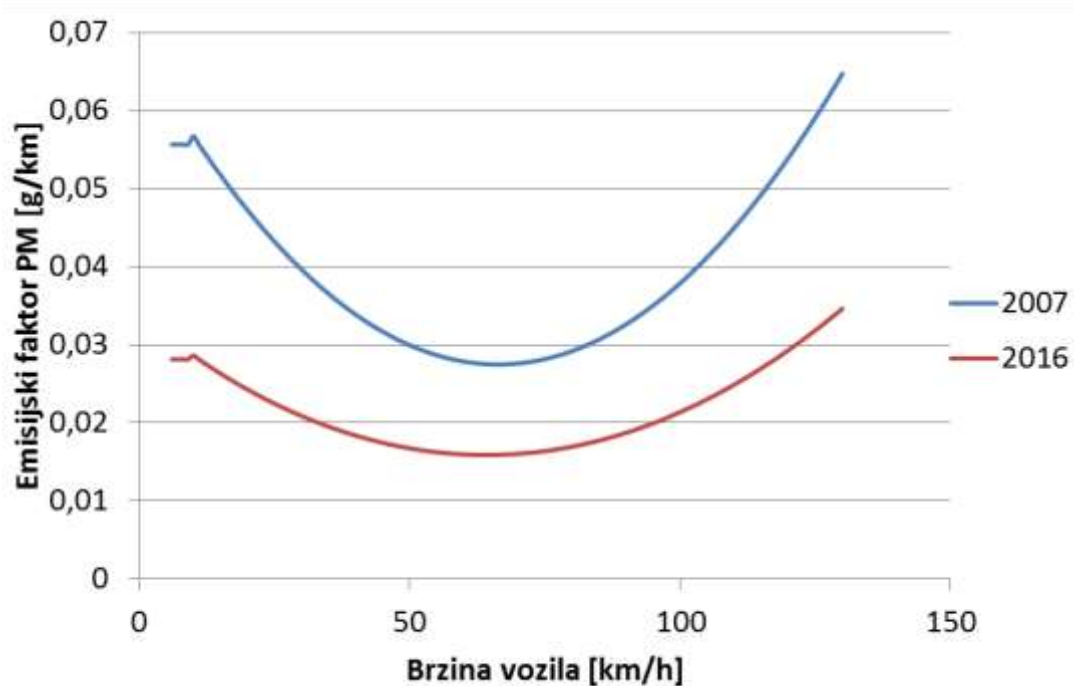
Vidljivo je kako emisijski razredi Euro 0, Euro 1 i Euro 2 imaju konstantan pad kroz sve godine, dok Euro 3 ima konstantnu vrijednost kroz godine. Emisijski razred Euro 4 bilježi značajan rast do 2013. godine kada njegov rast prestaje i on počinje bilježiti konstantnu vrijednost kroz godine. Razredi Euro 5 bilježi brz rast, dok Euro 6 bilježi spor rast.



Slika 3.13. Smanjenje emisijskog faktora CO



Slika 3.14. Smanjenje emisijskog faktora NOx



Slika 3.15. Smanjenje emisijskog faktora PM

Iako broj osobnih automobila u prometu Republike Hrvatske bilježi rast od 11,96 % od 2007. do 2016. godine, emisijski faktori pokazuju smanjenje od približno 50 % za sve štetne spojeve. To u konačnici znači da iako broj vozila raste, štetne emisije ne rastu nego bilježe značajan pad.

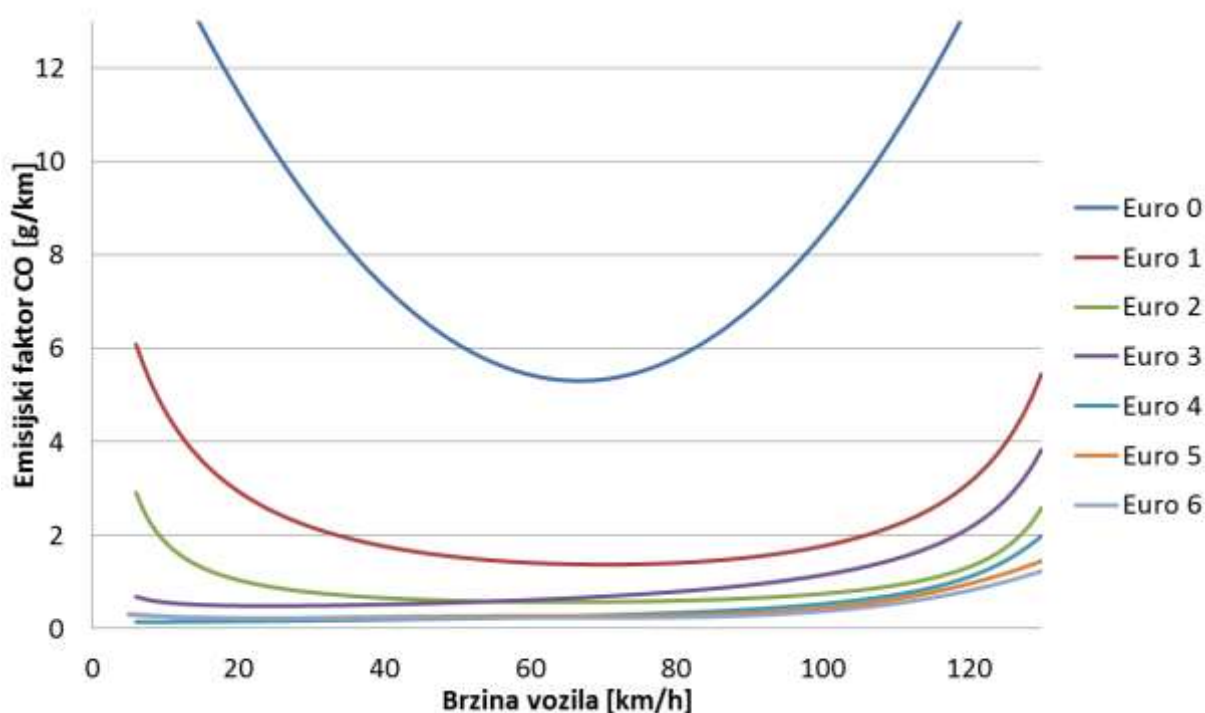
3.5 Usporedba emisijskih faktora COPERT: Street Level i HBEFA

Ranije je navedeno kako su ustaljena dva modela proračuna emisija štetnih tvari. Jedan se zasniva prema HBEFA metodologiji [8], a drugi prema COPERT metodologiji. U suštini bi oba programa trebala sadržavati jednake emisijske faktore korištene za proračun emisija štetnih tvari u ovisnosti o brzini vozila.

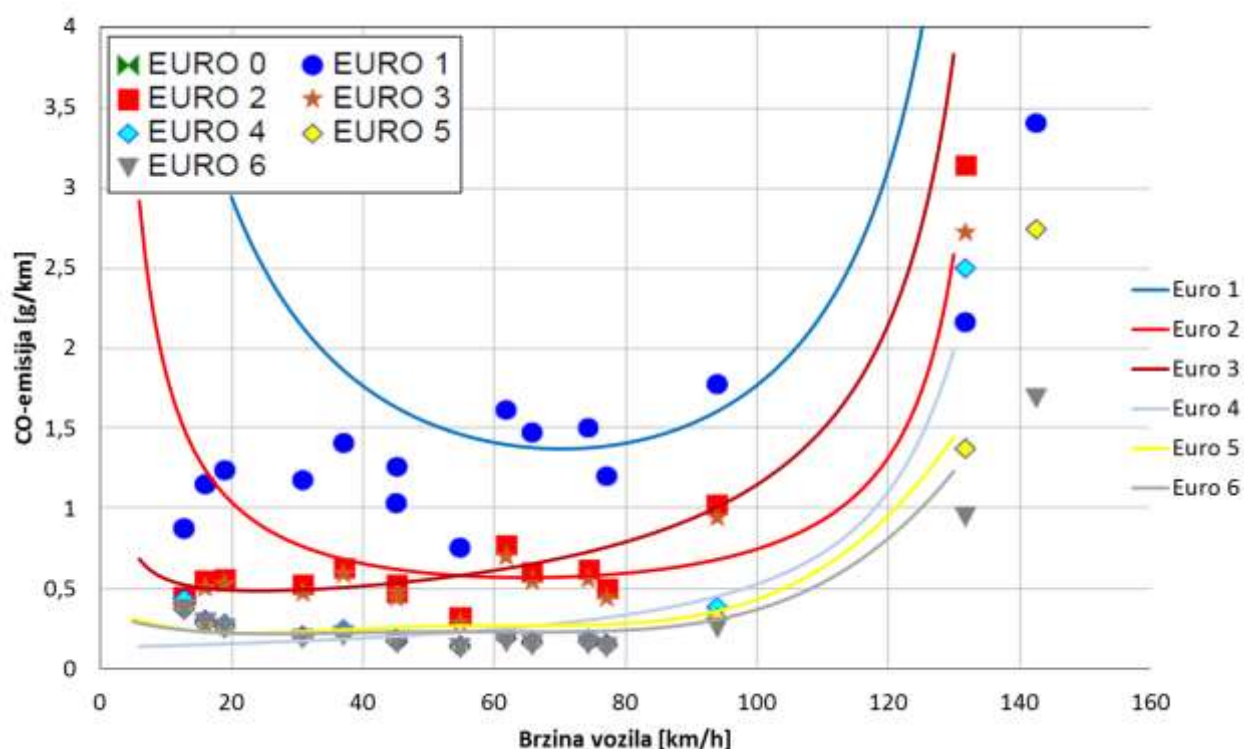
Promatrane veličine u ovome slučaju bit će ugljikov monoksid (CO) kod automobila pogonjenih Ottovim motorom i dušikovi oksidi (NO_x) i krute čestice (PM) kod automobila pogonjenih Diesellovim motorom, jer upravo to su veličine koje najviše podliježu promjenama.

3.5.1 Utjecaj starosti vozila kod automobila pogonjenih Ottovim motorom

Odmah je uočljivo kako prva tri emisijska razreda znatno nepovoljnije utječu na okoliš u odnosu na ostale emisijske razrede. Razlog odstupanja razreda Euro 0 je primjena rasplinjača zbog kojeg dolazi do nemogućnosti preciznog kontroliranja gorive smjese, što doprinosi nepotpunom izgaranju i razvijanju visokog udjela ugljikova monoksida u ispušnom sustavu.



Slika 3.16. Emisijski faktori CO osobnih automobila u ovisnosti o emisijskom razredu vozila



Slika 3.17. Usporedba emisijskih faktora CO

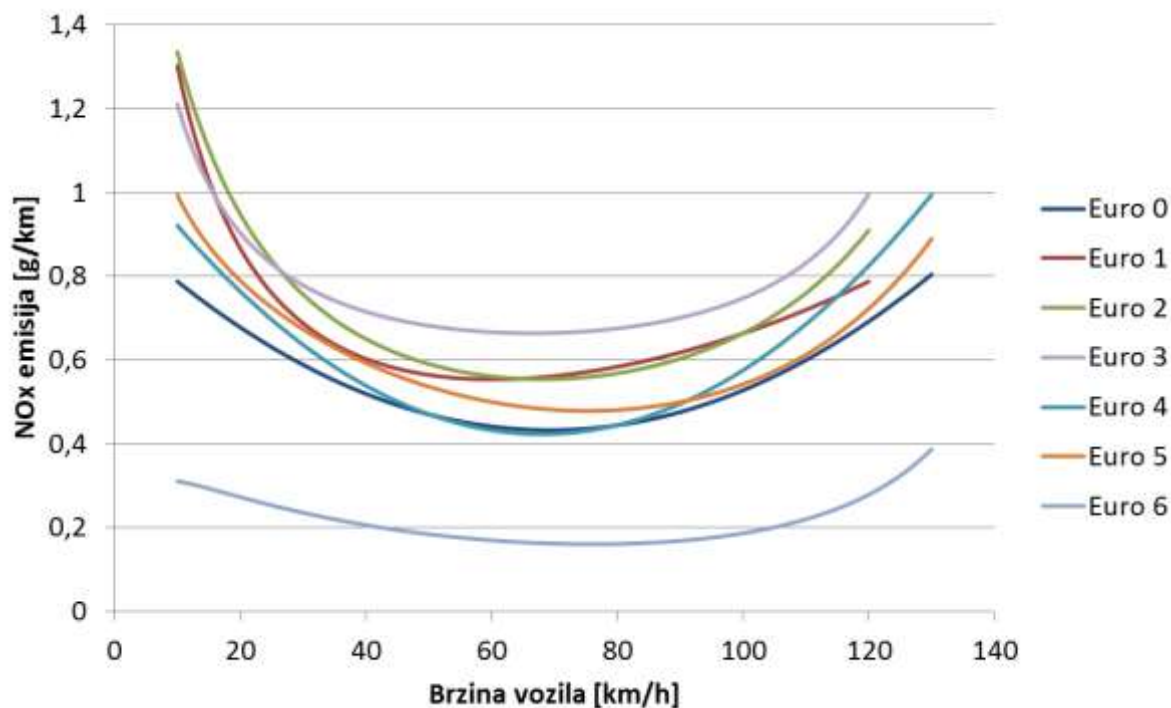
Vrijednosti označene pomoću simbola su emisijski faktori prema HBEFA-i, dok su linijama označeni emisijski faktori prema COPERT: Street Level-u.

U oba slučaja zanemaren je emisijski razred Euro 0 zbog svoje izrazito visoke vrijednosti što onemogućuje detaljniji prikaz ostalih emisijskih razreda.

Odmah je uočljivo kako se vrijednosti ovih dvaju dijagrama ne poklapaju u nižim emisijskim razredima Euro 1 i 2. Njihove vrijednosti približno su jednake jedino u rasponu brzine vozila od 60 do 80 km/h, dok kod niskih brzina vožnje vrijednosti se razlikuju i do nekoliko puta. Kod viših emisijskih razreda uočava se sličnost emisijskih faktora u cijelom rasponu brzina vožnje. No kako su u upotrebi česta vozila starija od Euro 3 emisijskog razreda, moguće je zaključiti da provedbom oba proračuna i usporedbom njihovih rezultata ne bi bilo moguće dobiti slična rješenja.

3.5.2 Utjecaj starosti vozila kod automobila pogonjenih Dieselovim motorom

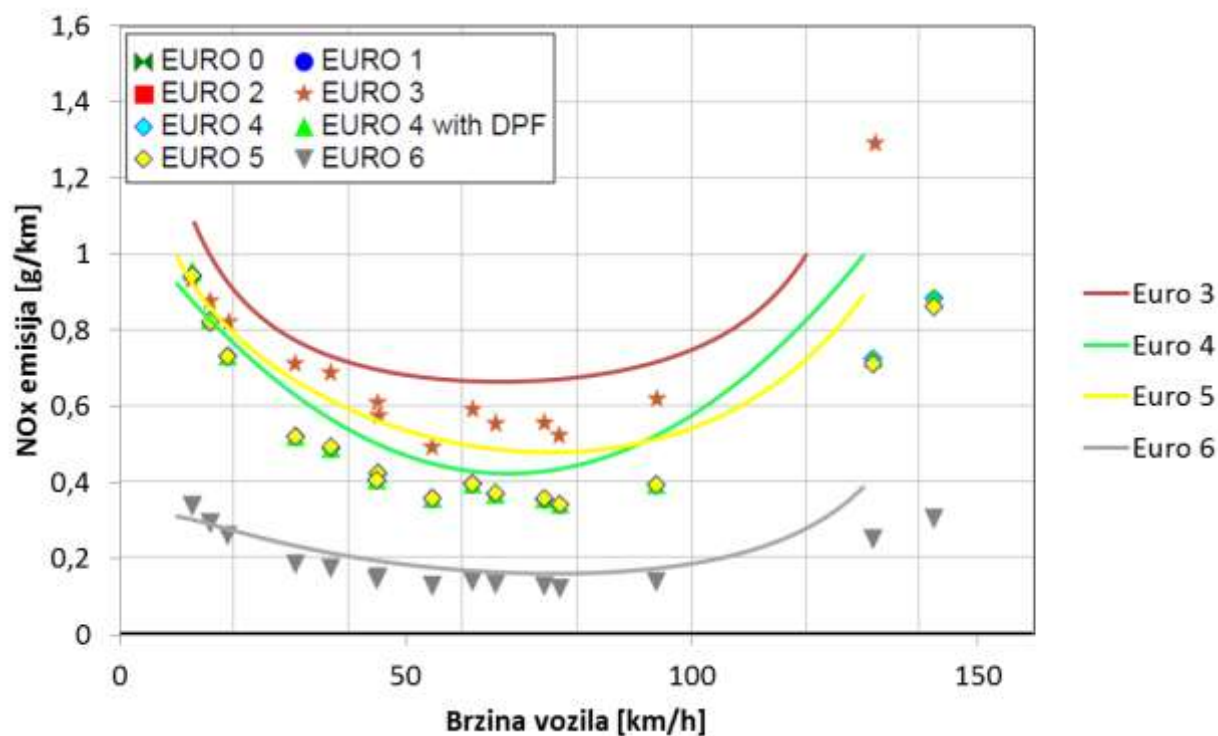
Kod automobila pogonjenih Dieselovim motorom bitno je uočiti emisijske faktore dušikovih oksida i krutih čestica, jer upravo te veličine predstavljaju problem i imaju najveći utjecaj na štetnu emisiju ispušnih plinova.



Slika 3.18. Emisijski faktori NO_x osobnih automobila u ovisnosti o emisijskom razredu vozila

Rezultati emisijskih faktora kategorija Euro 0, Euro 1 i Euro 2 niži su od ostalih što je nelogično. Također je bitno naglasiti kako ograničenje na NO_x spojeve postoji tek od 2000. godine uvođenjem Euro 3 emisijskog razreda.

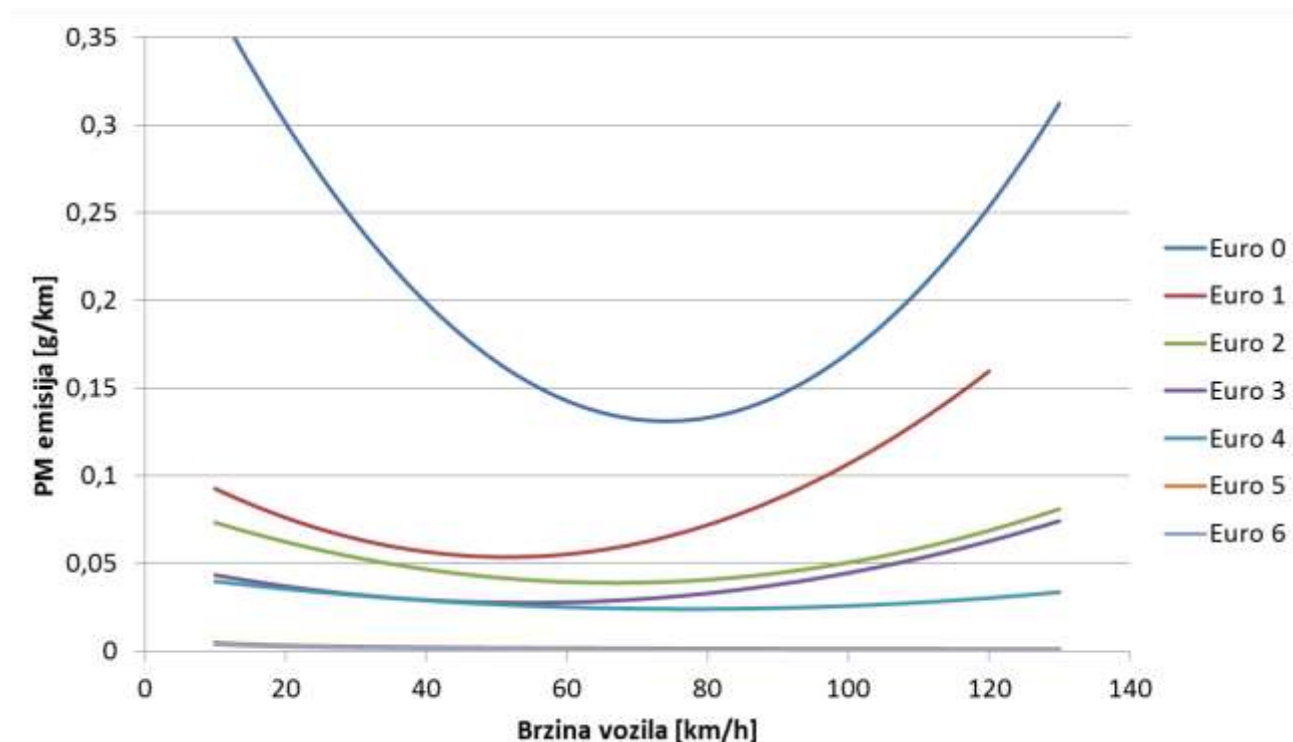
Iz dijagrama je vidljivo kako je uvođenje emisijskog razreda Euro 4 postignuto smanjenje od 15 do 30 % u odnosu na emisijski razred Euro 3. Daljnjim napretkom tehnologije i uvođenjem Euro 5 nije došlo do značajnijih promjena u vidu smanjenja emisija NO_x spojeva. Tek u 2014. godini dolazi do značajnijeg napretka tehnologije u vidu adblue tehnologije. Adblue tehnologija je omogućila smanjenje emisija NO_x spojeva do nekoliko puta u odnosu na prijašnje godine, što je vidljivo i iz dijagrama.



Slika 3.19. Usporedba emisijskih faktora NOx

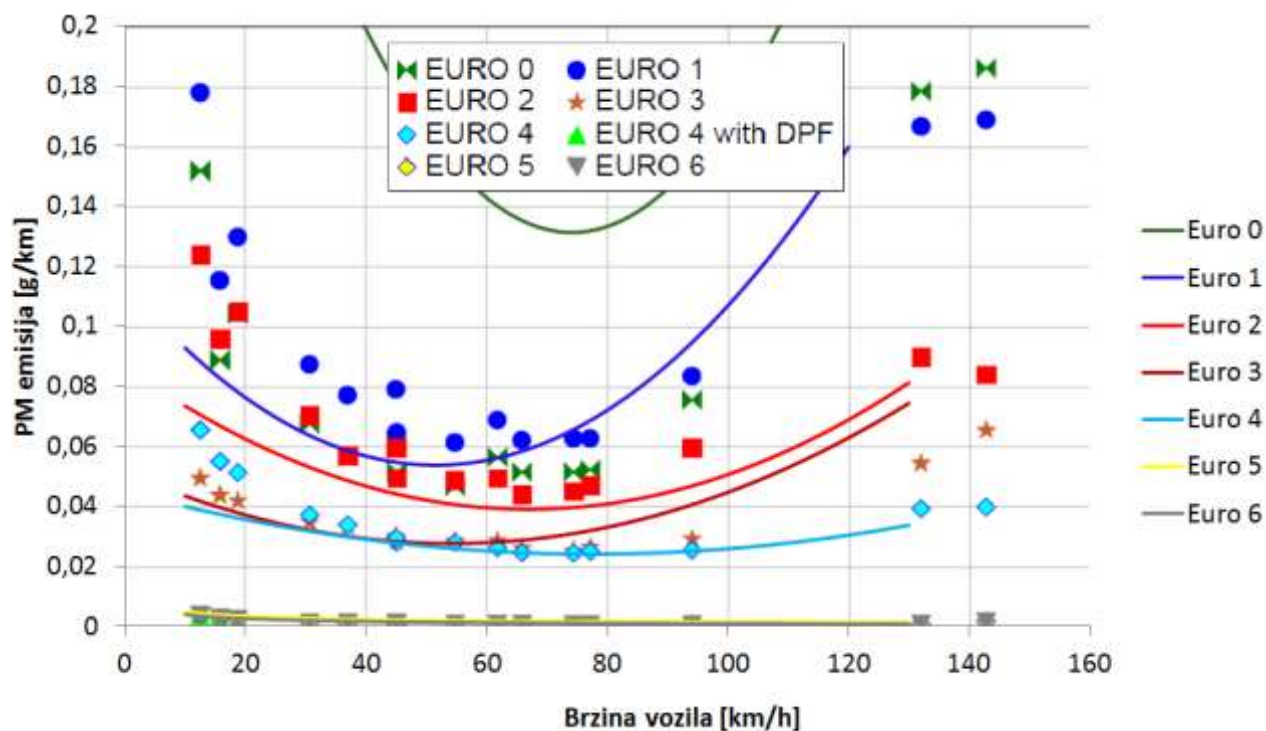
Vrijednosti označene pomoću simbola su emisijski faktori prema HBEFA-i, dok su linijama označeni emisijski faktori prema COPERT: Street Level-u.

Vidljivo je kako su emisijski faktori sadržani u COPERT:Street Level-u značajno veći od emisijskih faktora prema HBEFA-i. Vrijednosti se ne poklapaju niti u jednom rasponu brzina što znači da provedbom ovih dvaju proračuna rezultati emisija štetnih tvari razlikovat će se, odnosno rezultati dobiveni COPERT: Street Level metodologijom biti će veći nego rezultati dobiveni HBEFA-om.



Slika 3.20. Emisijski faktori PM osobnih automobila u ovisnosti o emisijskom razredu(starosti) vozila

Emisije krutih čestica uvijek su predstavljale problem kod Diesellovih motora. Iz dijagrama je jasno vidljivo smanjenje od Euro 0 do Euro 4 koje iznosi i do nekoliko puta. Ta smanjenja iako su bila značajna, ona nikako nisu bila dovoljna te se težilo dodatnom smanjenju emisija krutih čestica. Danas su te emisije vrlo niske te iznose manje od 0,05 g/km što je gotovo zanemarivo u odnosu na prijašnje emisijske razrede.



Slika 3.21. Usporedba emisijskih faktora PM

Vrijednosti označene pomoću simbola su emisijski faktori prema HBEFA-i, dok su linijama označeni emisijski faktori prema COPERT: Street Level-u.

Kod emisije krutih čestica uočavaju se zadovoljavajuća preklapanja emisijskih faktora kod viših emisijskih razreda pri srednjim brzinama vožnje, dok su pri nižim brzinama emisijski faktori prema HBEFA-i nešto viši od COPERT-ovih. Emisijski faktori razreda Euro 5 i Euro 6 su jednaki za sve brzine vožnje.

Kod nižih emisijskih razreda bitno je uočiti kako HBEFA uzima razred Euro 0 približno jednak razredu Euro 2, dok su kod COPERT: Street Levela vrijednosti za Euro 0 nekoliko puta veće. Kako je danas još uvijek moguće vidjeti automobile emisijske razine Euro 0, zaključuje se kako provedbom oba proračuna nebidobili zadovoljavajuću sličnost rezultata.

4 ZAKLJUČAK

Današnje procjene su da cestovni promet u Republici Hrvatskoj, kao i u ostatku Europe ukupnim emisijama pridonosi s približno 30 %, dok se kod većine ostalih sektora bilježi znatno smanjenje potrošnje energije, a time i emisija štetnih tvari, cestovni promet bilježi kontinuiran rast.

Politika Europske Unije napreduje u smjeru smanjenja emisija štetnih tvari, a smanjenje se nastoji postići primjenom različitih mjera. Prije uvođenja pojedinih mjera potrebno je procijeniti njen učinak na buduće emisije, odnosno procijeniti moguća smanjenja emisija. Upravo iz tog razloga osmišljen je i razvijen program COPERT: Street Level. Njegova svrha je da pomoću alata za brojanje i razvrstavanje prometa i alata za mjerenje prosječne brzine vozila izračuna i prati emisiju štetnih tvari. Pomoću njega, moguće je ne samo pratiti emisije, nego i promatrati utjecaj promjene strukture, broja i brzine vozila na emisiju štetnih tvari.

Uočeno je kako nije samo struktura vozila ključna za smanjenje emisija štetnih tvari. Ključnu ulogu igra i prosječna brzina vozila, što znači da promjenom prometne infrastrukture i boljom kontrolom gustoće prometnoga toka moguće je postići jednaka smanjenja emisije štetnih tvari kao što bi se dobila smanjenjem gustoće prometa.

U radu je prikazano kako bi izuzeće pojedinih vozila iz prometa unutar grada znatno smanjilo emisiju štetnih tvari. Takav pristup već se dugi niz godina uspješno primjenjuje u većim europskim gradovima.

Tijekom rada uočeni su i određeni nedostaci programa COPERT: Street Level. Unaprijed integrirana struktura vozila za Republiku Hrvatsku nikako ne odgovara stvarnoj strukturi registriranih vozila, stoga je za pravilnu procjenu emisija potrebno poznavati stvarnu strukturu vozila.

Budući da tijekom izrade završnog rada nije bilo moguće organizirati mjerenje gustoće i brzine prometa, puni potencijal programa nije ostvaren. Puni potencijal bio bi ostvaren primjenom alata za brojanje i razvrstavanje prometa. Na taj način dobio bi se egzaktn uvid u stvarnu strukturu vozila na promatranim prometnicama.

LITERATURA

- [1] Mahalec I., Lulić Z., Šagi G., Štetne emisije motora s unutarnjim izgaranjem i pročišćavanje ispušnih plinova, interna skripta, FSB, Zagreb, 2007
- [2] European emission standards - cars and light trucks,
www.dieselnet.com
- [3] Greenhouse gas emission statistics,
<http://ec.europa.eu/eurostat/>
- [4] Ricardo, Take a Breath 2012,
<http://www.ricardo.com/en-GB/>
- [5] R. Faria, P. Marques, P. Moura, F. Freire, J. Delgado, A. T. de Almeida, Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles, Renewable and Sustainable Energy Reviews 24 (2013) 271–287
- [6] ERMES-zastupljenost programskih paketa,
http://www.ermes-group.eu/web/leading_EU_models
- [7] R. Horvat, G. Kos, M. Ševrović, Traffic flow modelling on the road network in the cities, Technical Gazette 22, 2(2015), 475-486
- [8] Handbook emission factors for road transport (HBEFA),
<http://www.hbefa.net/e/index.html>
- [9] Fuel and Energy consumption calculator,
<http://emisia.com/content/fuel-energy-consumption-calculator-0>